



DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR POR PISO RADIANTE

Una alternativa eficiente para climatizar un espacio

Oscar Enrique Rodea García

Tesis para optar por el grado de Maestro en Diseño

Línea de Investigación: Arquitectura Bioclimática

Miembros del Jurado:

Dr. Álvaro Eduardo Lentz Herrera

Dr. Aníbal Figueroa Castrejón

Dr. José Roberto García Chávez

Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet

M. Manuel Gordon Sánchez

Director de la tesis

México D.F.
Junio del 2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día más.

A mi madre Lourdes García

Por haberme educado y soportar mis errores. Gracias a tus consejos, por el amor que siempre me has brindado, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad.

¡Gracias por darme la vida!

¡Te quiero mucho!

A mi padre Juan Rodea

A quien le debo todo en la vida, le agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que me brindó para culminar mi carrera profesional.

A mis Hermanos

Porque siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y amistad

A mis amigos. Alma, Evelyn, Francisco, Hugo, Montserrat

Muchas gracias por estar conmigo en todo este tiempo en donde he vivido momentos felices y tristes, muchas gracias por su amistad y apoyo, siempre los voy a recordar y a llevar en mi corazón.

A Itzaé por su cariño y apoyo para continuar y seguir con mi camino, gracias por estar conmigo y recuerda que eres muy importante para mí.

A mis maestros.

Gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional, en especial: al M. Gordon Sánchez Manuel por haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo.

SINOPSIS

Desde hace tiempo se han buscado fuentes de energía alternativas que ayuden a disminuir el consumo energético dentro de las edificaciones y el impacto económico que esto conlleva, esto principalmente porque el hombre busca condiciones de comodidad y confort dentro de las mismas, ya que muchas veces los espacios construidos no cuentan con los criterios básicos de diseño que coadyuvan a la disminución del impacto del clima en donde se encuentran edificados. En este sentido la tecnología de la energía solar en México se ha ido adaptando a las necesidades de los usuarios, por lo que es posible economizar gran porcentaje del consumo energético. El uso de la energía solar posee grandes ventajas, sin embargo su viabilidad se ha visto obstaculizada por el costo que conlleva su aplicación, además es necesario implementar estrategias de diseño bioclimático, que en combinación con la energía solar o alguna otra fuente alternativa ayuden a disminuir el impacto del clima sobre las edificaciones.

Por otro lado hay que tener en cuenta la problemática actual del consumo energético en México y la creciente demanda de combustibles fósiles y de energías no renovables. En esta investigación se presentan cifras oficiales de este consumo y el porcentaje que ocupa la vivienda dentro de él. Además se muestran las estimaciones del consumo de energía que señalan un efecto negativo, ya que el consumo de energía en México muestra un fuerte incremento en la demanda de combustibles de origen fósil, sobre todo de gas natural, gasolina y diesel.

Por tal motivo es necesario buscar fuentes de energía alternativas que ayuden a disminuir el consumo de energía y a mejorar las condiciones de confort de los espacios arquitectónicos. Buscando minimizar el consumo energético por climatización, en específico en calefacción, en la presente investigación se realizó un experimento en el cual se implementó un sistema de calefacción hidrónica alimentado con energía solar; el objetivo consiste en demostrar que en un clima templado semi-frio como el de la ciudad México, un piso radiante hidrónico solar puede reducir significativamente el consumo de energía ayudando a optimizar el confort térmico dentro de un espacio de forma eficiente.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

| | | |
|-------|---|---|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 | ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.1.1 | El uso de la energía solar en la historia | 1 |
| 1.1.2 | Los primeros calentadores solares de agua..... | 2 |
| 1.2 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 4 |
| 1.3 | HIPÓTESIS PRINCIPAL..... | 5 |
| 1.3.1 | Hipótesis 1 | 5 |
| 1.3.2 | Hipótesis 2 | 5 |
| 1.3.3 | Hipótesis 3 | 5 |
| 1.3.4 | Hipótesis 4 | 6 |
| 1.4 | OBJETIVO GENERAL..... | 6 |
| 1.4.1 | Objetivo 1 | 6 |
| 1.4.2 | Objetivo 2 | 6 |
| 1.4.3 | Objetivo 3 | 6 |
| 1.4.4 | Objetivo 4 | 7 |
| 1.5 | MOTIVACIÓN PARA ELABORAR LA INVESTIGACIÓN..... | 7 |

| | | |
|-----|-----------------------------------|---|
| 1.6 | PROCEDIMIENTO | 8 |
| 1.7 | METODOLOGÍA | 8 |
| 1.8 | SÍNTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 9 |

CAPÍTULO II

| | | |
|-------|---|----|
| 2 | MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL | 13 |
| 2.1 | ESTADO DEL ARTE..... | 13 |
| 2.1.1 | Investigación de Peter Weitzmanna..... | 13 |
| 2.1.2 | Investigación de S. Flores Larsen | 14 |
| 2.1.3 | Investigación de Ali A. Badran..... | 16 |
| 2.2 | MARCO CONCEPTUAL | 19 |
| 2.2.1 | Confort térmico | 19 |
| 2.2.2 | Energía solar térmica | 26 |
| 2.2.3 | Radiación solar..... | 28 |

CAPÍTULO III

| | | |
|---|---|----|
| 3 | ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO | 35 |
|---|---|----|

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1 | UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y MESOCLIMA | 35 |
| 3.2 | DATOS CLIMATOLÓGICOS | 36 |
| 3.3 | ANÁLISIS PARAMÉTRICO | 39 |
| 3.3.1 | Temperatura. | 39 |
| 3.3.2 | Humedad.. | 39 |
| 3.3.3 | Radiación. | 40 |
| 3.3.4 | Nubosidad | 41 |
| 3.3.5 | Días grado | 42 |
| 3.3.6 | Precipitación y Evaporación | 43 |
| 3.3.7 | Índice Ombrotérmico..... | 44 |
| 3.3.8 | Viento..... | 44 |
| 3.3.9 | Triángulo de Confort de Evans | 46 |
| 3.3.10 | Carta bioclimática..... | 47 |
| 3.3.11 | Diagrama Psicrométrico | 50 |
| 3.3.12 | Temperatura Efectiva | 51 |
| 3.3.13 | Temperatura horaria..... | 53 |
| 3.3.14 | Humedad relativa Horaria..... | 54 |
| 3.3.15 | Tablas de Mahoney..... | 55 |
| 3.3.16 | Estrategias de Mahoney | 56 |
| 3.3.17 | Definición de estrategias básicas de diseño bioclimático | 57 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|-----|---|----|
| 4. | LA ENERGÍA SOLAR UNA FORMA EFICIENTE DE CLIMATIZAR ESPACIOS | 59 |
| 4.1 | ¿QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR? | 59 |
| 4.2 | VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR | 63 |
| 4.3 | CALEFACCIÓN SOLAR EN LAS EDIFICACIONES..... | 68 |
| 4.4 | EL CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA COMO MEDIO DE CALEFACCIÓN..... | 75 |

CAPÍTULO V

| | | |
|-----|---|----|
| 5 | CONFORT Y CONSUMO ENERGÉTICO EN LA VIVIENDA DE LA CIUDAD DE MÉXICO | 82 |
| 5.1 | EL CONFORT TÉRMICO EN LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO | 82 |
| 5.2 | CONSUMO ENERGÉTICO EN MÉXICO | 91 |
| 5.3 | EL CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA, UNO DE LOS PRINCIPALES GENERADORES DE CONSUMO ENERGÉTICO | 98 |

CAPÍTULO VI

| | | |
|---|---|-----|
| 6 | VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN | 103 |
|---|---|-----|

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.1 | SISTEMAS CONVENCIONALES DE CALEFACCIÓN..... | 103 |
| 6.1.1 | La calefacción directa..... | 105 |
| 6.1.2 | Calefacción por agua caliente..... | 107 |
| 6.1.3 | Calefacción por vapor..... | 108 |
| 6.1.4 | Calefacción con energía eléctrica .. | 108 |
| 6.1.5 | Calefacción por aire acondicionado . | 109 |
| 6.1.6 | Sistemas de calefacción por aire .. | 110 |
| 6.1.7 | Calefacción a gas natural..... | 111 |
| 6.1.8 | Calefacción radiante .. | 112 |
| 6.2 | SISTEMAS PASIVOS DE CALEFACCIÓN..... | 116 |
| 6.3 | SISTEMAS ACTIVOS DE CALEFACCIÓN..... | 119 |
| 6.4 | SISTEMAS HIDRÓNICOS DE CALEFACCIÓN EN EL MERCADO MEXICANO | 121 |
| 6.5 | CALEFACCIÓN POR PISO RADIANTE..... | 124 |

CAPÍTULO VII

| | | |
|-----|---|-----|
| 7 | LA CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR, POR PISO RADIANTE CÁLCULO Y COMPONENTES..... | 129 |
| 7.1 | CÁLCULO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR PISO RADIANTE..... | 129 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.1.1 | Balance energético del edificio | 129 |
| 7.1.2 | Determinación de las necesidades energéticas para la temporada de calefacción | 131 |
| 7.1.3 | Cálculo de la potencia térmica necesaria | 135 |
| 7.1.4 | Cálculo de los colectores solares | 139 |
| 7.1.5 | Determinación de la potencia corregida y potencia del generador q^* , en $/m^2$ | 141 |
| 7.1.6 | Determinación de la distancia de separación entre tubos y metros lineales de tubo | 145 |
| 7.1.7 | Cálculo del caudal..... | 147 |
| 7.1.8 | Cálculo del espesor del mortero..... | 148 |
| 7.1.9 | Cálculo del tanque de acumulación | 150 |
| 7.2 | ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA INSTALACIÓN..... | 151 |
| 7.2.1 | Tubería | 151 |
| 7.2.2 | El aislamiento..... | 153 |
| 7.2.3 | Sistema de fijación..... | 154 |
| 7.2.4 | Banda perimetral | 155 |
| 7.2.5 | El distribuidor. | 156 |
| 7.2.6 | Generadores de calor..... | 157 |
| 7.2.7 | Tipos de circuitos y sus variantes | 157 |

CAPÍTULO VIII

| | | |
|-----|---|-----|
| 7.3 | EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN ESPACIO ACONDICIONADO CON UN SISTEMA DE PISO RADIANTE HIDRÓNICO SOLA..... | 162 |
| 8.1 | EVALUACIÓN EN P.I.V DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL PISO RADIANTE EN UN MODELO A ESCALA. | 162 |
| 8.2 | ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE MÉXICO..... | 170 |
| 8.3 | CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO EXPERIMENTAL..... | 173 |
| 8.4 | 1er PERIODO DE EVALUACIONES..... | 175 |
| 8.5 | 2º PERIODO DE EVALUACIONES..... | 200 |
| 8.6 | DIMENSIONAMIENTO DE CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR PARA UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL..... | 223 |
| 8.7 | ESTIMACIÓN DE EMISIÓN DE C02 EVITADOS POR EL USO DE UN PISO RADIANTE | 237 |

CONCLUSIONES

| | | |
|---|-------------------|-----|
| 9 | CONCLUSIONES..... | 240 |
|---|-------------------|-----|

BIBLIOGRAFÍA

| | | |
|----|-------------------|-----|
| 10 | BIBLIOGRAFIA..... | 247 |
|----|-------------------|-----|

ANEXOS

| | | |
|--------|--|-----|
| 11.1 | ANEXOS I..... | 251 |
| 11.1.1 | Análisis térmico del primer periodo de evaluación comprendido del . 19 de mayo al 6 de julio del 2010..... | 251 |
| 11.2 | ANEXOS II..... | 299 |
| 11.2.1 | Análisis térmico del segundo periodo de evaluación comprendido del 11 de . diciembre al 14 de febrero del 2011..... | 299 |
| 11.3 | ANEXOS III..... | 349 |
| 11.3.1 | 11.3.1 Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables (PCES)..... | 349 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla1. Generación típica de calor metabólico para diferentes actividades. | 22 |
| Tabla 2. Valores del aislamiento de la ropa en Clo., según el INSHT-NTP74..... | 22 |
| Tabla 3. Valores del aislamiento de la ropa en Clo..... | 23 |
| Tabla 4. Factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort | 26 |
| Tabla 5. Clasificación de la radiación ultravioleta de acuerdo al segundo congreso de la luz, agosto 1932. | 31 |
| Tabla 6. Datos climáticos de la ciudad de México durante todo el año..... | 38 |
| Tabla. 7. Muestra los datos de la temperatura efectiva corregida | 52 |
| Tabla. 8. Muestra los datos de humedad y temperatura de los indicadores de Mahoney. | 55 |
| Tabla. 9. Muestra los indicadores y las estrategias propuestas por Mahoney..... | 56 |
| Tabla 10. Valores de calor específico, densidad y capacidad térmica de algunos materiales..... | 74 |
| Tabla 11. Factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort térmico | 88 |
| Tabla 12. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la carga térmica y sus valores..... | 132 |
| Tabla 13. Muestra los datos necesarios para el cálculo de Kg. | 136 |
| Tabla 14. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la potencia térmica y sus valores..... | 138 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 15. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la potencia corregida y sus valores. | 139 |
| Tabla 16. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de Superficie necesaria de colectores solares y sus valores. | 140 |
| Tabla 17. Cantidad de anticongelante, en tanto por ciento que habría que añadir para proteger contra temperaturas frías extremas del exterior. | 141 |
| Tabla 18. Variables que se involucran en la fórmula de la Potencia corregida..... | 142 |
| Tabla 19. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la Potencia corregida para cada habitación..... | 142 |
| Tabla 20. Coeficientes correctores de la potencia emisora..... | 143 |
| Tabla 21. Temperaturas máximas en régimen permanente recomendables para superficies de suelo | 144 |
| Tabla 22. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la potencia necesaria a aportar en la vivienda y sus valores..... | 145 |
| Tabla 23. Muestra la temperatura del agua en los circuitos y el salto térmico T^* | 146 |
| Tabla 24. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de salto térmico y sus valores. | 146 |
| Tabla 25. Muestra las variables que se involucran en la fórmula del caudal y sus valores. | 148 |
| Tabla 26. Muestra las variables que se involucran en la fórmula del espesor del mortero y sus valores. | 149 |
| Tabla 27. Variables que se involucran en la fórmula del volumen de tanque de acumulación | 150 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 28. Algunas características físicas de las tuberías de plástico. | 152 |
| Tabla 29. Muestra los datos necesarios para el cálculo de Kg. | 225 |
| Tabla 30. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la potencia térmica y sus valores..... | 226 |
| Tabla 31. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la potencia corregida y sus valores..... | 227 |
| Tabla 32. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la potencia corregida para cada habitación y sus valores..... | 227 |
| Tabla 33. Coeficientes correctores de la potencia emisora. | 228 |
| Tabla 34. Muestra el balance térmico horario de la vivienda. | 229 |
| Tabla 35. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de superficie necesaria de colectores solares y sus valores..... | 230 |
| Tabla 36. Muestra las variables que se involucran en la fórmula del volumen de tanque de acumulación y sus valores | 231 |
| Tabla 37. Muestra las capacidades, medidas y número de tubos de los colectores solares | 232 |
| Tabla 38. Lista de precios de los calentadores solares ecotecnó..... | 235 |
| Tabla 39. Costo total de la inversión..... | 236 |
| Tabla 40. Factores de emisión de electricidad promedio en México [ton CO ₂ eq/MWh] | 238 |
| Tabla 41. Conversión de consumos energéticos a emisiones de CO ₂ equivalentes | 239 |
| Tabla 42. Conversión de consumos energéticos a emisiones de CO ₂ equivalentes | 239 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig. 1. Detalle del piso radiante utilizado en el prototipo del INENCO. Se observan las termocuplas embutidas en el hormigón y el canal de distribución de aire. | 15 |
| Fig.2. Esquema del sistema completo de calentamiento con colectores solares. | 15 |
| Fig. 3. Montaje experimental de los dos sistemas: (a) el sistema de estanques, (b) el sistema de colectores | 17 |
| Fig. 4. Eficiencia global de los dos sistemas..... | 18 |
| Fig. 5. Vista lateral (izquierda) de una onda electromagnética a lo largo de un instante y vista frontal (derecha) de la misma en un momento determinado..... | 28 |
| Fig. 6. Efecto de la radiación solar sobre la tierra..... | 30 |
| Fig. 7. Ubicación geográfica del Distrito Federal..... | 35 |
| Fig.8. Mapa de climas en el Distrito Federal. | 37 |
| Fig. 9. Gráfica que muestra la temperatura de la ciudad de México durante todo el año. | 39 |
| Fig. 10. Gráfica que muestra la temperatura de la ciudad de México durante todo el año. | 40 |
| Fig. 11. Gráfica que muestra la radiación solar de la ciudad de México durante todo el año. | 41 |
| Fig. 12. Gráfica que muestra la nubosidad solar de la ciudad de México durante todo el año. | 42 |
| Fig. 13. Gráfica que muestra los días grado de la ciudad de México durante todo el año..... | 42 |
| Fig. 14. Gráfica que muestra la precipitación y evaporación de la ciudad de México durante todo el año. | 43 |

| | |
|---|----|
| Fig. 15. Gráfica que muestra el índice ombrotemico de la ciudad de México durante todo el año..... | 44 |
| Fig. 16. Gráfica que muestra el índice viento de la ciudad de México durante todo el año..... | 45 |
| Fig. 17. Gráfica que muestra la rosa de los vientos en la ciudad de México durante todo el año..... | 45 |
| Fig. 18. Gráfica que muestra el triángulo de confort de Evans y su análisis en la ciudad de México durante todo el año..... | 46 |
| Fig. 19. Gráfica que muestra el diagrama bioclimático en la ciudad de México durante todo el año..... | 48 |
| Fig. 20. Gráfica que muestra el diagrama bioclimático en la ciudad de México durante todo el año..... | 49 |
| Fig. 21. Gráfica que muestra el diagrama psicrométrico en la ciudad de México durante todo el año..... | 50 |
| Fig. 22. Gráfica que muestra el diagrama psicrométrico en la ciudad de México durante todo el año..... | 51 |
| Fig. 23. Gráfica que muestra la temperatura efectiva corregida..... | 52 |
| Fig. 24. Gráfica que muestra la temperatura horaria..... | 53 |
| Fig. 25. Gráfica que muestra la humedad horaria..... | 54 |
| Fig. 26. Distribución global del potencial de conversión térmico solar mediante colectores solares | 60 |
| Fig. 27. Esquema de la utilización de un sistema de energía solar térmica en una casa. | 62 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 28. Imagen de una cocina solar por Rotafolio. | 63 |
| Fig. 29. Esquema de aprovechamiento con diseño pasivo de ganancia directa. | 70 |
| Fig. 30. Colegio Wallasey (1961 - Cheshire, UK), un ejemplo clásico de lo que es un diseño pasivo de ganancia directa. | 70 |
| Fig. 31. Ejemplos de casas solares pasivas en Argentina. La casa solar de Mendoza. | 71 |
| Fig. 32. El colector plano. | 77 |
| Fig.33. Partes de colector solar plano. | 77 |
| Fig. 34. Colector de tubos evacuados. | 80 |
| Fig.35. Funcionamientos de los tubos evacuados. | 80 |
| Fig. 36. Gráfica que muestra el comportamiento de la temperatura de la ciudad de México durante todo el año. | 86 |
| Fig. 37. Gráfica que muestra los requerimientos de calentamiento de la ciudad de México durante todo el año. | 87 |
| Fig. 38 Consumo energético en México por sector. | 93 |
| Fig. 39. Origen de los energéticos en México. | 94 |
| Fig. 40. Consumo final energético por tipo. | 94 |
| Fig. 41. Consumo interno de Energéticos (Petajoules). | 95 |
| Fig. 42. Capacidad Instalada de Generación Eléctrica. | 96 |
| Fig. 43. Consumo final de energético por sector y tipo. | 97 |
| Fig. 44. Estructura del consumo final total por tipo de energético 2008. | 100 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 45. Consumo final total de energía (petajoules)..... | 100 |
| Fig. 46. Distribución global del potencial de conversión térmico solar mediante colectores solares. | 123 |
| Fig. 47. Muestra el comportamiento de la curva de calefacción del suelo radiante contra otros sistemas de calefacción. | 125 |
| Fig. 48. Muestra el comportamiento del suelo radiante dentro de un espacio y la uniformidad que este logra..... | 126 |
| Fig. 49. Muestra el comportamiento del suelo radiante dentro de un espacio y la uniformidad que este logra..... | 127 |
| Fig. 50. Muestra las ganancias y pérdidas de energía del día 7 de enero. | 134 |
| Fig. 51. Muestra las ganancias y pérdidas medias de energía durante el mes de enero. | 134 |
| Fig. 52. Factor de corrección Cpv según el tipo y espesor del pavimento. | 143 |
| Fig. 53. Temperatura de la superficie del suelo en función de su emisividad térmica..... | 144 |
| Fig. 54. Emisión térmica del suelo en función de salto térmico $T_m - T_a$ y la distancia de separación entre tubos. | 147 |
| Fig. 55. Diferentes tipos de las tuberías de termoplástico. | 153 |
| Fig. 56. Diferentes tipos de aislantes base. | 154 |
| Fig. 57. Ejemplos de los diferentes tipos de sistemas de sujeción. | 155 |
| Fig. 58. Banda perimetral aislante. | 156 |
| Fig. 59. Distribuidor o colectores que se encargan de distribuir el fluido por todos los circuitos. | 156 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 60. Ejemplos de la distribución en serpentín simple. ... | 158 |
| Fig. 61. Ejemplos de la distribución en doble serpentín. | 159 |
| Fig. 62. Ejemplos de la distribución en espiral. | 160 |
| Fig. 63. Ejemplos de la configuración del piso radiante con todos sus elementos. | 160 |
| Fig.64. Muestra el prototipo a escala del módulo en donde se realizaran las mediciones de temperatura | 162 |
| Fig.65 Muestra el prototipo a escala que se utilizara para ver el comportamiento del aire por del PIV | 163 |
| Fig. 66 Muestra el prototipo a escala y la sección analizada | 164 |
| Fig. 67. Muestra el comportamiento del aire en la primera sección analizada por medio del PIV | 164 |
| Fig. 68. Muestra la segunda secciona analizada del prototipo a escala | 165 |
| Fig. 69. Muestra el comportamiento del aire en la segunda sección analizada por el PIV | 165 |
| Fig. 70. Muestra la tercera sección que se analizó para ver el comportamiento del aire caliente..... | 166 |
| Fig. 71. Muestra el movimiento del aire y las perturbaciones que se producen en la tercera sección analizada por medio del PIV..... | 166 |
| Fig. 72. Muestra el prototipo a escala y la sección analizada por el PIV..... | 167 |
| Fig. 73. Muestra el movimiento de aire en la parte superior del prototipo a escala | 167 |
| Fig. 74. Muestra la sección analizada del prototipo a escala | 168 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 75. Muestra la última sección que se analizó en el prototipo a escala, se puede apreciar el comportamiento del aire caliente a través de la dirección de los vectores | 168 |
| Fig. 76. Muestra la el comportamiento de aire en el interior del prototipo a escala | 169 |
| Fig. 77. Gráfica que muestra la temperatura de la ciudad de México durante todo el año. | 171 |
| Fig. 78. Gráfica que muestra los días grado de la ciudad de México durante todo el año. | 171 |
| Fig. 79. Gráfica que muestra el % de confort que hay en la ciudad de México a lo largo del año..... | 171 |
| Fig. 80. Tabla que muestra las temperaturas horarias durante todo el año..... | 172 |
| Fig. 81. Imagen que muestra la configuración del módulo, sus medidas y el serpentín de polietileno del piso radiante | 173 |
| Fig. 82. Imagen que muestra el proceso constructivo del módulo, en él se pueden observar los materiales con los que está construido | 174 |
| Fig. 83. Imagen que muestra el proceso constructivo del módulo, se puede observar el aislante que lleva entre las placas de cemento | 174 |
| Fig. 84. Imagen que muestra el módulo experimental en la parte exterior, se puede apreciar el recubrimiento con impermeabilizante de color blanco | 174 |
| Fig. 85. Imagen que muestra el módulo experimental y los termopares con los que se medirán las temperaturas interiores | 174 |
| Fig. 86. Imagen que muestra el módulo experimental terminado en el que se realizarán las mediciones de temperatura, así como el colector solar. | 175 |
| Fig. 87. Imagen que muestra la configuración del piso radiante, materiales y los termopares con los cuales se hicieron las mediciones de las temperaturas..... | 175 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 88. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior | 176 |
| Fig. 89. Imagen que muestra la simulación de las temperaturas interiores del módulo, así como la temperatura exterior | 176 |
| Fig. 90. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior | 177 |
| Fig. 91. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente que influyen en el comportamiento del colector solar | 177 |
| Fig. 92. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior | 178 |
| Fig. 93. Imagen que muestra la simulación de las temperaturas interiores del módulo, y la temperatura exterior, se observa que las temperaturas están por debajo del rango de confort..... | 178 |
| Fig. 94. Gráfica que muestra las pérdidas de energía del módulo obtenidas del balance térmico..... | 178 |
| Fig. 95. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 20 de mayo del 2010 | 178 |
| Fig. 96. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares | 179 |
| Fig. 97. Imagen que muestra la simulación de las temperaturas interiores del módulo experimental | 179 |
| Fig. 98. Gráfica que muestra las pérdidas de energía del módulo obtenidas del balance térmico..... | 179 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 99. Imagen que muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 21 de mayo del 2010..... | 179 |
| Fig. 100. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior | 180 |
| Fig. 101. Imagen que muestra la simulación de las temperaturas interiores del módulo experimental..... | 180 |
| Fig. 102. Imagen que muestra el balance térmico del día 22 de mayo..... | 180 |
| Fig. 103. Imagen que muestra la radiación solar incidente del día 22 de mayo | 180 |
| Fig. 104. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior | 181 |
| Fig. 105. Imagen que muestra la simulación de las temperaturas interiores del módulo experimental..... | 181 |
| Fig. 106. Imagen que muestra el balance térmico del día 23 de mayo, se puede apreciar que las pérdidas de energía hacen a los 160 w | 181 |
| Fig. 107. Imagen que muestra la radiación solar incidente del día 23 de mayo, la radiación haciendo a los 1000 w/m ² | 181 |
| Fig. 108. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior obtenidas de la simulación térmica del módulo virtual del día 19 de mayo..... | 182 |
| Fig. 109. Imagen que muestra las temperaturas interiores del módulo real obtenidas por los termopares, así como la temperatura exterior del día 19 de mayo. S/D..... | 182 |
| Fig. 110. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior obtenidas de la simulación térmica..... | 183 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 111. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 19 de mayo. S/D | 183 |
| Fig. 112. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior obtenidas de la simulación térmica | 183 |
| Fig. 113. Imagen que muestra las temperaturas interiores, así como la temperatura exterior del día 19 de mayo. S/D | 183 |
| Fig. 114. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior obtenidas de la simulación térmica | 184 |
| Fig. 115. Imagen que muestra las temperaturas interiores obtenidas por los termopares, así como la temperatura exterior del día 19 de mayo. S/D | 184 |
| Fig. 116. Muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior obtenidas de la simulación térmica..... | 185 |
| Fig. 117. Muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares y la temperatura exterior del día 19 de mayo. S/D | 185 |
| Fig. 118. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 1 de junio..... | 186 |
| Fig. 119. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 19 de mayo. | 186 |
| Fig. 120. Muestra el balance térmico nocturno del módulo para el día 1 junio, se puede apreciar que las pérdidas de energía llegan a los 160 W | 187 |
| Fig. 121. Muestra la temperatura de la superficie del piso, así como la temperatura del agua que corre por el serpentín..... | 187 |
| Fig. 122. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 1 junio..... | 188 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 123. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 1 junio del 2010..... | 188 |
| Fig. 124. Imagen que muestra la temperatura interior de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 1 de junio | 189 |
| Fig. 125. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo obtenida de la simulación térmica para el día 9 de junio. | 189 |
| Fig. 126. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 9 junio | 189 |
| Fig. 127. Muestra las pérdidas horarias de energía del módulo para el día 9 junio del 2010..... | 189 |
| Fig. 128. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 1 junio del 2010..... | 190 |
| Fig. 129. Muestra la temperatura de la superficie del piso, así como la temperatura del agua que corre por el serpentín | 190 |
| Fig. 130. Imagen que muestra la temperatura interior de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 15 de junio | 191 |
| Fig. 131. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo obtenida de la simulación térmica para el día 15 de junio | 191 |
| Fig. 132. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 15 junio del 2010..... | 191 |
| Fig. 133. Muestra la temperatura de la superficie del piso, así como la temperatura del agua que corre por el serpentín | 191 |
| Fig. 134. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 9 junio | 192 |
| Fig. 135. Muestra las pérdidas horarias de energía del módulo para el día 9 junio del 2010..... | 192 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 136. Imagen que muestra la temperatura interior de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 15 de junio..... | 192 |
| Fig. 137. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo obtenida de la simulación térmica para el día 15 de junio | 192 |
| Fig. 138. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 21 junio..... | 193 |
| Fig. 139. Muestra las pérdidas horarias de energía del módulo para el día 21 junio del 2010 | 193 |
| Fig. 140. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 15 junio del 2010 | 193 |
| Fig. 141. Muestra la temperatura de la superficie del piso, así como la temperatura del agua que corre por el serpentín..... | 193 |
| Fig. 142. Imagen que muestra la temperatura interior de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 29 de junio..... | 194 |
| Fig. 143. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo obtenida de la simulación térmica para el día 29 de junio | 194 |
| Fig. 144. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 21 junio..... | 194 |
| Fig. 145. Muestra las pérdidas horarias de energía del módulo para el día 21 junio del 2010 | 194 |
| Fig. 146. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 15 junio del 2010 | 195 |
| Fig. 147. Muestra la temperatura de la superficie del piso, así como la temperatura del agua que corre por el serpentín..... | 195 |
| Fig. 148. Imagen que muestra los niveles de nubosidad a lo largo del año | 196 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 149. Imagen que muestra el comportamiento de la radiación solar a lo largo del año..... | 196 |
| Fig. 150. Imagen que muestra el comportamiento térmico dentro del módulo a diferentes alturas de 0.30, 1.60 y 2.20 cm..... | 196 |
| Fig. 151. Muestra la simulación de la temperatura al interior del módulo..... | 196 |
| Fig. 152. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 1 junio | 197 |
| Fig. 153. Muestra las pérdidas horarias de energía del módulo para el día 1 junio del 2010..... | 197 |
| Fig. 154. Imagen que muestra el comportamiento térmico dentro del módulo a diferentes alturas de 0.30, 1.60 y 2.20 cm..... | 198 |
| Fig. 155. Muestra la temperatura al interior del módulo y la temperatura exterior obtenida de la simulación térmica..... | 198 |
| Fig. 156. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 6 julio | 198 |
| Fig. 157. Muestra la radiación solar horaria del día 6 de julio | 198 |
| Fig. 158. Muestra el balance térmico horario del día 6 de julio | 199 |
| Fig. 159. Muestra la temperatura de la superficie del piso, así como la temperatura del agua que corre por el serpentín | 199 |
| Fig. 160. Imagen que muestra de la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día..... | 201 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 161. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior | 201 |
| Fig. 162. Imagen que muestra de la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior | 202 |
| Fig. 163. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas | 202 |
| Fig. 164. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior | 202 |
| Fig. 165. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior..... | 202 |
| Fig. 166. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día | 203 |
| Fig. 167. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior | 203 |
| Fig. 168. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior..... | 203 |
| Fig. 169. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas..... | 203 |
| Fig. 170. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día | 204 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 171. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior | 204 |
| Fig. 172. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior | 204 |
| Fig. 173. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas | 204 |
| Fig. 174. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día..... | 205 |
| Fig. 175. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior | 205 |
| Fig. 176. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior | 206 |
| Fig. 177. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas | 206 |
| Fig. 178. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior | 207 |
| Fig. 179. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior | 207 |
| Fig. 180. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día | 207 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 181. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas | 207 |
| Fig. 182. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 19 mayo del 2010 | 208 |
| Fig. 183. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso | 208 |
| Fig. 184. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior | 208 |
| Fig. 185. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas..... | 208 |
| Fig. 186. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior..... | 209 |
| Fig. 187. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior..... | 209 |
| Fig. 188. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 19 mayo del 2010 | 210 |
| Fig. 189. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso | 210 |
| Fig. 190. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día..... | 210 |
| Fig. 191. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas | 210 |
| Fig. 192. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día | 212 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 193. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior | 212 |
| Fig. 194. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior | 212 |
| Fig. 195. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas | 212 |
| Fig. 196. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior | 213 |
| Fig. 197. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior | 213 |
| Fig. 198. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 19 mayo del 2010 | 213 |
| Fig. 199. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso..... | 213 |
| Fig. 200. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día | 214 |
| Fig. 201. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas..... | 214 |
| Fig. 202. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día..... | 215 |
| Fig. 203. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior | 215 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 204. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior | 215 |
| Fig. 205. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas | 215 |
| Fig. 206. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior | 216 |
| Fig. 207. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior..... | 216 |
| Fig. 208. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 19 mayo del 2010 | 216 |
| Fig. 209. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso | 216 |
| Fig. 210. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día..... | 217 |
| Fig. 211. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas | 217 |
| Fig. 212. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día | 218 |
| Fig. 213. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior | 218 |
| Fig. 214. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior | 218 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 215. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas | 218 |
| Fig. 216. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior | 219 |
| Fig. 217. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior | 219 |
| Fig. 218. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 19 mayo del 2010 | 219 |
| Fig.219. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso..... | 219 |
| Fig. 220. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día | 220 |
| Fig. 221. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas..... | 220 |
| Fig. 222. Casa tipo de interés social de 120 m ² Casas Geo. Conjunto habitacional el Dorado..... | 224 |
| Fig.223. Factor de corrección Cpv según el tipo y espesor del pavimento. | 228 |
| Fig. 224. Muestra el balance térmico horario de la vivienda. | 230 |
| Fig. 225. Muestra el balance térmico por espacio. | 230 |
| Fig. 226. Muestra los datos técnicos de un calefactor eléctrico. | 233 |

LISTA DE ECUACIONES

- Ley de Wien: $T = \frac{2897.6 \cdot \mu m \cdot K}{0.475 \cdot \mu m} = 6099K$ (1)

- Potencia de radiación: $P = \frac{de}{dt}, W$ (2)

- Irradiación: $I = \frac{d}{dA} \left(\frac{dE}{dt} \right) = \frac{dP}{dA} \left(\frac{W}{m^2} \right)$ (3)

- Pérdidas de energía: $P = P_{TR} + P_g$ (4)

- Las pérdidas por transmisión: $P_{TR} = P_o + P_v$ (5)

- Ganancias de energía: $G = G_s + G_i$ (6)

- Ganancias solares: $G_s = G_o + G_v$ (7)

- Carga térmica de calefacción: $Q = Qc + Qv + Qi + Qs$ (8)

- Cantidad de calor a suministrar por día: $Q_d = Q * 0,6 * 8$ (9)

- Coeficiente global de transferencia de calor de la edificación:

$$K_G = \frac{\sum K_E S_E + 0.5 \sum K_N S_N + 0.8 \sum K_Q S_Q + \sum K_S S_S}{\sum S_E + \sum S_N + \sum S_Q + \sum S_S} \dots\dots\dots (10)$$

- Factor de forma de un edificio: $f = \frac{S_{-----}(1)}{V_{-----}(2)} = 3.40 - - - - - (3)$ (11)

- Potencia térmica requerida W:

$$p^* = K_G \cdot S_{ext} \cdot (T_a - T_e) + 0.35 \cdot N \cdot V_{int} \cdot (T_a - T_e) (W) \dots\dots\dots (12)$$

- Potencia corregida W/m²: $q = \frac{P^*}{S_{int}}$ (13)

- Superficie de captación: $S = \frac{Q_{diarias}}{I_t \cdot n} \cdot f$ (14)

- Potencia corregida W/m²: $q^* = \frac{P^*}{S_{int}}$ (15)

- Potencia corregida para cada habitación: $q_h = c_s \cdot c_p \cdot c_n \cdot c_{pv} \cdot q^*$ (16)

- Potencia necesaria a aportar en la vivienda: [W] $P = \sum q_h \cdot S_h$ (17)

- Salto térmico (°C): $T^* = T_m - T_a$ (18)

- Caudal del circuito L/h: $C_c = \frac{q_c \cdot S_c}{\Delta T}$ (19)

- Espesor del mortero en (m): $e_m = \frac{Q_{diarias} \cdot \frac{t \cdot f}{24} \cdot S \cdot e_s \cdot C_{ps} \cdot d_s \cdot (T_{is} - T_{fs})}{S \cdot C_{pm} \cdot d_m \cdot (T_{im} - T_{fm})}$ (20)

- Volumen del depósito acumulador en m³:

$$V = \frac{Q - S \cdot [e_m \cdot C_{pm} \cdot d_m \cdot (T_{im} - T_{fm}) - e_s \cdot C_{ps} \cdot d_s \cdot (T_{is} - T_{fs})]}{T_{fa} - T_{ia}}$$
(21)

- Temperatura de confort: $ZC = T_{n-} + 2.5^\circ C$ (22)

- Temperatura neutra: $T_n = 17.6 + (0.31 \cdot T_{med})$ (23)

- Kilocalorías que pierde la vivienda en las horas en que no está funcionando el generador: $Q = P \cdot N$ (24)

CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 El uso de la energía solar en la historia

La energía solar es aquella que proporciona el Sol a través de sus radiaciones, propagándose directamente o de modo difuso en la atmósfera. La energía radiante que se produce en el Sol es el resultado de numerosas reacciones nucleares en su superficie. La energía viaja a través del espacio hasta llegar a la Tierra, la cual interactúa con la atmósfera y la superficie terrestres. La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra va a depender de tres factores importantes que son el día del año, la hora y la latitud del lugar. Además, la cantidad de energía captada dependerá de la orientación del dispositivo de captación.

Por medio de algunas tablillas de arcilla halladas en Mesopotamia que datan del año 2000 A.C. aproximadamente, se sabe que las sacerdotisas encendían el fuego sagrado de los altares mediante espejos curvados de oro pulido, los cuales concentraban los rayos solares y de esta forma producían fuego. Hacia el año 1450 A.C. en Egipto, existían unas estatuas sonoras del faraón Amenhotep III, donde el sonido producido por éstas se debía al aire calentado por medio del Sol en sus enormes pedestales huecos.

Arquímedes atacó a las naves romanas durante el renacimiento con espejos cóncavos que concentraban los rayos solares con los que incendió las naves, este método fue después utilizado por Kicher (1601-1680) cuando encendió una pila de leña a cierta distancia utilizando espejos similares. Entre el año 1651-1700, Ehrenfried von Tschirnhaus miembro de la Academia Nacional Francesa de la Ciencia, logró fundir materiales cerámicos mediante la utilización de una lente de 76 centímetros (cm) de diámetro, años después George Louis Leclerc (1707-1788) fabricó un horno solar compuesto por 360 espejos con un foco común e hizo una demostración en los jardines del Palacio de Versalles, encendiendo una pila de leña a 60 m.

El primer colector solar plano fue fabricado por el suizo Nicholas de Saussure (1740-1799), el cual estaba compuesto por una cubierta de vidrio y una placa metálica negra encerrada en una

caja con su correspondiente aislamiento térmico. Este colector se utilizó para cocinar alimentos que se introducían en su interior.

1.1.2 Los primeros calentadores solares de agua

Una de las aplicaciones de la energía solar que ha tenido mayor uso y divulgación es el calentamiento de agua para consumo doméstico. Las primeras patentes de calentadores solares aparecieron en Estados Unidos (E.U) a finales del siglo XIX. En México se han desarrollado y utilizado desde la década de los 40.

A partir de la Revolución Industrial el alojamiento humano demandó de forma necesaria cantidades de energía para agua caliente y calefacción, esto puede generar una carga económica importante para las familias de pocos recursos económicos o en lugares donde la disponibilidad de combustible es escasa.

Afortunadamente, se descubrió un modo seguro, fácil y barato de calentar agua: el depósito metálico de agua pintado de negro y colocado donde incide más el Sol y menos la sombra, siendo estos los primeros calentadores solares de agua en EU. Según uno de sus primeros usuarios, el agua se calentaba tanto que era necesario añadir fría para poder tomar un baño.

El problema con estos calentadores solares no era su capacidad de producir agua caliente, sino cuándo y durante cuánto tiempo. Estos inconvenientes de los métodos populares de calefacción solar llamaron la atención de los inventores a finales del siglo XIX, ya familiarizados con las propiedades de las cajas calientes. En EU (en varias épocas y lugares), florecieron empresas rentables dedicadas a la instalación de aparatos solares domésticos. La patente Climax, por ejemplo, de 1891, mezclaba la vieja práctica de la exposición de depósitos metálicos desnudos al Sol con el principio científico de la caja caliente, incrementando así, la capacidad del depósito para captar y retener la energía solar.

Entre 1900 y 1911 más de una docena de inventores registraron patentes para mejorar el Climax, aunque sólo algunas de ellas llegan a fructificar en un aparato eficiente, práctico y económico. Al

igual que el modelo original, se conecta generalmente a un sistema convencional de calentamiento de agua que entra en acción durante el mal tiempo. Este nuevo modelo se denomina Climax Perfeccionado.

Un problema evidente quedaba por solucionar ¿Cómo tener agua caliente durante la noche y a primera hora de la mañana? En el verano de 1909, en una pequeña tienda al aire libre del suburbio de Monrovia de Los Ángeles, a cargo de un ingeniero llamado William J. Bailey comienza a vender un calentador solar de agua que revolucionaría la industria, no sólo suministraba agua caliente mientras lucía el Sol, sino durante horas después de haber anochecido y también a la mañana siguiente; para más señas el modelo se denominó Día y Noche.

Bailey habiendo trabajado con la Carnegie Steel en Pennsylvania, pronto descubre que su médico, el doctor Remington, experimentaba con calentadores solares de agua, para templar el agua con mayor rapidez y conservar el calor durante más tiempo, Remington separa el calentador solar en dos partes o unidades: un captador de energía solar y un depósito de acumulación de agua. El captador consiste en un serpentín colocado en el interior de un cajón con tapa de vidrio suspendido sobre el muro sur de la casa, el reducido volumen de agua contenido dentro del serpentín se calienta rápidamente y en lugar de permanecer al exterior (donde se hubiera enfriado en seguida por la noche o durante el mal tiempo) el agua caliente corre por una tubería hasta un depósito convencional situado en la cocina.

Bailey adopta la idea de Remington del captador y el depósito separado. Para mejorar la retención del calor aísla a este último mediante polvo de piedra caliza, que le separa de una caja de madera que le contiene. El serpentín del captador es de cobre y descansa sobre una lámina metálica negra. La caja del captador está aislada con fieltro. Ni siquiera se necesita una bomba para impulsar el agua entre el captador y el depósito acumulador. El Día y Noche opera según el principio del termosifón (el agua caliente es más ligera que la fría y tiende a elevarse por sí sola). El depósito acumulador se sitúa por encima del captador, con lo que el agua fría en su parte baja desciende por gravedad a través de un tubo hasta la entrada del captador. El flujo cíclico

continuaba en tanto el agua del captador estuviera más caliente que la contenida en la base del depósito.

Para garantizar suficiente agua caliente en épocas de mal tiempo o períodos de mucho uso, Bailey recomienda a los clientes añadir un calentador auxiliar. El Día y Noche puede conectarse a una cocina de leña, un calentador de gas o un horno de carbón.

Hoy en día, la tecnología solar térmica experimenta un fuerte crecimiento en Europa, desde 1993 se tiene un crecimiento de 14.8% anual en el área instalada de captadores solares planos. Tres países: Alemania, Grecia y Austria, destacan de los demás, en 1998, estos países instalaron más de 150,000 m^2 de calentadores solares. Alemania es el líder ya que, instaló en ese año 470,000 m^2 , en más de 50,000 instalaciones colectivas e individuales para calentamiento de agua. Sin embargo, en términos relativos, el número de captadores solares por cada mil habitantes en Grecia y Austria superan a Alemania.

En 1999, en México se instalaron 35,000 m^2 de calentadores solares, principalmente para el calentamiento de albercas, registrándose un incremento de 8% y 40% en relación a 1998 y 1997 respectivamente.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las temperaturas bajas del clima de la ciudad de México afectan el confort térmico en el interior de las viviendas, por lo cual se están consumiendo elevadas cantidades de energía para climatizar un espacio, esto se observa generalmente en las viviendas de interés social donde la variedad de sistemas constructivos, materiales y formas han dejado en segundo plano al confort térmico, trayendo como consecuencia el uso indispensable de sistemas convencionales de calefacción, los cuales tienen un alto consumo energético que impactan en la economía de los usuarios. Otro aspecto importante en el consumo energético es la demanda de agua caliente sanitaria,¹ A nivel

¹ Agua caliente sanitaria (ACS) es agua destinada a consumo humano (potable) que ha sido calentada. Se utiliza para usos sanitarios humanos (baños, duchas, etc.) y para otros usos de limpieza (fregado de platos, lavadora, lavavajillas, fregado de suelos)

mundial, el calentamiento de agua se ha convertido en el segundo uso energético doméstico en importancia después de la calefacción y la refrigeración. Hoy en día existen sistemas solares de calefacción y de calentamiento de agua que reducen el gasto energético, pero que implican una gran inversión en la etapa constructiva de la vivienda, este factor imposibilita que estos sistemas se puedan implementar en la vivienda de interés social.

1.3 HIPÓTESIS PRINCIPAL

La promoción y variedad de sistemas convencionales de calefacción y calentamiento de agua, aunado a los altos costos de los sistemas solares de calefacción, a la carencia de recursos económicos por parte de los usuarios y la falta de información técnica que promueva el uso de los sistemas solares de calefacción y calentamiento de agua, imposibilita la implementación de estos sistemas en la vivienda de interés social.

1.3.1 Hipótesis 1

La energía solar térmica se puede usar en las edificaciones para climatización y para calentamiento de agua por medio de dispositivos solares, los cuales ayudan a un mayor ahorro energético.

1.3.2 Hipótesis 2

No existen en el mercado dispositivos de calefacción solar de bajo costo y alta eficiencia que se puedan implementar en las viviendas de interés social

1.3.3 Hipótesis 3

La falta de conocimiento acerca de los sistemas solares de calefacción como el piso radiante hidrónico solar y los altos costos de estos, implica que los usuarios continúen usando sistemas convencionales de calefacción para la climatización de un espacio

1.3.4 Hipótesis 4

No existen estudios ni información técnica adecuada que demuestre la eficiencia y el ahorro energético que el dispositivo hidrónico solar de calefacción nos puede brindar en comparación con un dispositivo convencional

1.4 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis donde se demuestre que la implementación de un sistema de calefacción hidrónico solar de piso radiante, en un clima templado como el de la ciudad México con requerimientos de calentamiento todo el año, puede reducir significativamente el consumo de energía y ayudar a optimizar el confort térmico dentro de un espacio, de forma eficiente y económica.

1.4.1 Objetivo 1

Promover el uso de la energía solar como una alternativa eficiente y económica para climatizar un espacio

1.4.2 Objetivo 2

Hacer un estudio de los sistemas de calefacción existentes en el mercado mexicano, para elaborar un dispositivo eficiente y económico que se pueda implementar en una vivienda de interés social

1.4.3 Objetivo 3

Demostrar que la implementación de un sistema de calefacción hidrónico solar de piso radiante puede reducir significativamente el consumo energético que se requiere para climatizar un espacio

1.4.4 Objetivo 4

Analizar la eficiencia, el desempeño y el comportamiento térmico que logra un sistema hidrónico solar de piso radiante dentro de un espacio para comprobar si este nos brinda el calor necesario para optimizar el confort térmico dentro de un espacio

1.5 MOTIVACIÓN PARA ELABORAR LA INVESTIGACIÓN

La calefacción por energía solar ha sido una de las aplicaciones que más interés ha despertado en los últimos tiempos. La calefacción de edificios requiere de importantes cantidades de energía y por lo tanto de elevadas sumas de dinero. Por tal razón es importante explorar la posibilidad de calentar edificios través de la energía gratuita y ecológica como lo es la energía solar.

Existen dos sistemas fundamentales de calefacción que utiliza la energía solar, aquel que emplea colectores de agua y el que emplea colectores de aire. El método con mejores resultados hasta ahora ha sido el que emplea agua, debido a que este recurso presenta ciertas ventajas en cuanto a su capacidad para transportar calor. Ya que puede llevar hasta 5 veces más calor por unidad de masas que el aire.

A nivel mundial, el calentamiento de agua se ha convertido en el segundo uso energético doméstico en importancia después de la calefacción y la refrigeración. Por esta razón, el calentamiento de agua mediante energía solar, más allá de ser una alternativa ecológica, se ha convertido en una tecnología competitiva en muchos países. Los beneficios ambientales del uso de calentadores solares incluyen dos vertientes: las de carácter local, que generan reducciones en emisiones de productos de la combustión, como los óxidos nitrosos (NOx) y monóxido de carbono (CO), y los beneficios ambientales globales derivados de menores reducciones de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Además, a menor consumo de combustibles, disminuyen también las potenciales fugas y las emisiones de estos compuestos hidrocarburos que pueden contribuir a la destrucción del ozono troposférico mediante procesos foto-químicos. Por tal razón es importante estudiar las capacidades de las técnicas bioclimáticas necesarias para

demostrar que el uso de la energía solar para climatizar un espacio es un método sustentable que nos ayuda a disminuir el consumo energético de manera considerable.

1.6 PROCEDIMIENTO

Se estudió en forma general las condiciones climáticas necesarias para un buen diseño del sistema de calefacción solar en la Ciudad de México, con el objetivo de construir un sistema de piso radiante para el desarrollo experimental del trabajo de investigación.

Posteriormente se realizó un análisis del comportamiento térmico del espacio a calentar, así como del dispositivo que ayudará a calentarlo. Así mismo este análisis se llevó a cabo por medio de un modelo a escala, el cual se comparó con un modelo real, utilizando un software para monitorear el desempeño y la eficiencia del sistema de calefacción y el comportamiento térmico del espacio. Finalmente se realizó una comparativa energética y del comportamiento térmico del piso radiante con un dispositivo mecánico de calefacción.

1.7 METODOLOGÍA

Para llegar al objetivo de la presente investigación la metodología se basa en la obtención de información mediante una revisión documental y el análisis del trabajo experimental. La revisión documental permitió elaborar el análisis teórico principalmente mediante la obtención de información correspondiente a la energía solar pasiva, activa y los sistemas de calefacción más utilizados en la vivienda, enfatizando en climas templados semifríos como el de la ciudad de México y así realizar una evaluación sobre el ahorro energético utilizando la calefacción solar.

El trabajo experimental se llevó a cabo mediante la construcción de un modelo del sistema de calefacción hidrónico solar de piso radiante y una simulación a través de un programa computacional. Esto permitió llevar a cabo un análisis del funcionamiento del mismo, para lo cual se realizaron diversas evaluaciones que permitieron demostrar que existe un potencial ahorro energético en la vivienda popular utilizando este tipo de calefacción, dichas evaluaciones se realizaron por medio de programas de cómputo que simularon el comportamiento térmico de un

espacio interior acondicionado con éste. Adicionalmente se realizaron mediciones a un módulo experimental en donde se implementó un sistema de calefacción hidrónica por piso radiante para conocer si la vivienda obtenía una temperatura confortable con un mínimo de energía suministrada.

1.8 SÍNTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo se presentan los antecedentes del uso de la energía solar y la aparición de los primeros calentadores solares de agua, así mismo se abordan los problemas sobre el consumo energético que se buscan resolver mediante el uso de la energía solar con la finalidad de disminuir este consumo. Adicionalmente se muestra la estructura del protocolo de investigación que incluye: el planteamiento del problema, hipótesis, objetivos y metodología.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

En el segundo capítulo se aborda el estado del arte en lo concerniente al uso de la energía solar como una alternativa para climatizar un espacio, se hace referencia a destacadas investigaciones en el ámbito de la calefacción solar y su funcionamiento, así como en la eficiencia y en estudios sobre transferencia de calor de sistemas hidrónicos solares. Además se introduce el marco conceptual con la finalidad de definir términos relevantes para la investigación como el confort térmico, la radiación solar y la energía solar térmica.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

En el tercer capítulo se realiza un análisis climático de la ciudad de México y se proponen las estrategias de diseño bioclimático específicas para ésta, desarrollando así criterios bioclimáticos como el diseño solar y el aprovechamiento de la energía solar pasiva y activa. De esta forma se pretende lograr una temperatura interior confortable. Este análisis paramétrico se realizó analizando las normales climatológicas por medio de herramientas como la carta bioclimática, el diagrama psicrométrico y los triángulos de confort de Evans.

CAPÍTULO IV

4. LA ENERGÍA SOLAR UNA FORMA EFICIENTE DE CLIMATIZAR ESPACIOS

En el cuarto capítulo se aborda el aprovechamiento de la energía solar, la cual puede llevarse a cabo de forma pasiva o activa. Por lo cual, se analizan sus características así como sus ventajas y desventajas, además de realizar un estudio de los sistemas de aprovechamiento pasivo y activo más utilizados en la climatización de edificios. Finalmente, se analiza el calentamiento solar de agua como medio de calefacción.

CAPÍTULO V

5 CONFORT Y CONSUMO ENERGÉTICO EN LA VIVIENDA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

El quinto capítulo analiza la problemática actual del consumo energético en México y la creciente demanda de combustibles fósiles y de energías no renovables. Se presentan cifras oficiales de este consumo y el porcentaje que ocupa la vivienda dentro de él. Además se muestra como los sistemas constructivos y la creciente demanda de viviendas afectan el confort térmico dentro de

ella, lo cual representa un problema ya que ante cualquier condición climática la vivienda debe intentar conseguir el máximo nivel de confortabilidad, lo cual implica muchos parámetros y factores.

CAPÍTULO VI

6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

En este capítulo se hace referencia a la calefacción, la cual es una forma de climatización que consiste en satisfacer el equilibrio térmico cuando existe una pérdida corporal de calor disipada hacia el ambiente. Actualmente hay diversos sistemas de calefacción que nos brindan distintas alternativas para calentar un espacio, sin embargo, éstos puede tener un mayor grado de eficiencia dependiendo del espacio a calentar o por la energía que éstos consumen. Finalmente se analiza cual es el mejor sistema de calefacción según la distribución de calor dentro de un espacio.

CAPÍTULO VII

7 LA CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR, POR PISO RADIANTE CÁLCULO Y COMPONENTES

En este capítulo se realiza una explicación detallada de la calefacción hidrónica solar por piso radiante, por lo cual se describen todas las variables necesarias para calcular y dimensionar un sistema de piso radiante alimentado con energía solar, así mismo se muestra por medio del análisis de un espacio como realizar el balance térmico de una edificación, el cálculo de los colectores solares y del tanque de acumulación necesario para satisfacer la demanda de energía que requiere un espacio para ser calentado, además de describir cada uno de los elementos que conforman la instalación.

CAPÍTULO VIII

8. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN ESPACIO ACONDICIONADO CON UN SISTEMA DE PISO RADIANTE HIDRÓNICO SOLAR

En este capítulo se presentan los resultados del trabajo experimental realizado, el cual se llevó a cabo en dos periodos (primavera e invierno), con la finalidad de conocer la eficiencia del sistema de calefacción hidrónico solar de piso radiante implementado para calentar un espacio determinado con un menor consumo de energía. De esta forma, se realizó en primer lugar un modelo a escala con la finalidad conocer el comportamiento del aire caliente en el interior de un espacio donde se simuló un piso radiante a través de una resistencia eléctrica y un variador de voltaje. En segundo lugar se ofrecen los resultados de las mediciones realizadas a un espacio donde se implementó un sistema de piso radiante, en estos resultados se muestra el incremento de temperatura que se logra dentro del espacio analizado. Posteriormente se desarrollaron simulaciones virtuales para comparar la diferencia de la temperatura alcanzada en un espacio implementando un sistema de calefacción solar.

9. CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones formuladas a partir de los resultados obtenidos de las mediciones realizadas del trabajo experimental, así como consideraciones específicas a cada hipótesis y objetivos planteados.

10. ANEXOS

Se presentan todos los datos obtenidos durante las evaluaciones y mediciones realizadas al módulo experimental y virtual, los cuales se presentan procesados y analizados en forma de gráficas.

CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ESTADO DEL ARTE

2.1.1 Investigación de Peter Weitzmanna

Los sistemas por suelo radiante se han introducido recientemente para la calefacción de edificios. Siendo estos sistemas de baja temperatura que emiten ondas electromagnéticas las cuales transmiten el calor. Ellos pueden ser mucho más eficientes que los sistemas de convección de aire, ya que el aire no es recalentado. Este sistema de calefacción tiene una serie de ventajas como son: la temperatura puede tener una modulación adecuada para el confort humano. Teniendo diferencias de temperatura entre la cabeza y los pies de los usuarios de aproximadamente de 2° C y manteniendo la temperatura de la superficie del suelo por debajo de 27 ° C. Otra virtud es que la temperatura del aire no es mayor que el de las paredes. No hay condensación en las paredes y no hay necesidad de humedecer el aire en el invierno. Las diferencias en las temperaturas del aire son mínimas y la convección del aire parecen ser insignificantes y, por lo tanto, el movimiento de polvo disminuye. Es por eso que los sistemas de suelo radiante son más limpios que otros más convencionales.

En una investigación realizada por Peter Weitzmanna, JesperKragha, Peter Roots, y Svend Svendsen acerca de la calefacción por suelo radiante se menciona que los estudios realizados se han centrado principalmente en la interacción entre el sistema de calefacción y la habitación, sin considerarlas pérdidas de calor al suelo. Su investigación presenta un modelo de simulación de dos dimensiones de las pérdidas de calor y temperatura en un piso de losa con calefacción en donde es capaz de modelar el sistema de calefacción por suelo radiante de forma dinámica. “El objetivo de este trabajo es ser capaz de modelar, en detalle, la influencia de la construcción de los pisos y el fundamento sobre el desempeño del sistema de calefacción por suelo radiante.”(Weitzmann, 2006, pág. 2)

Este modelo es de simulación de la energía y está acoplado a un edificio entero, en donde se incluyen las pérdidas y el suministro de calor a la habitación. Según los investigadores éste

puede usarse para diseñar casas con una buena eficiencia energética. El análisis de la calefacción de suelo se centra en la pérdida de calor a través de la construcción de los pisos y cimientos. En la investigación se encontró que es importante el modelo de la dinámica del sistema de calefacción en el suelo para encontrar las pérdidas de calor correctas para el suelo. También se ha demostrado que la aplicación dinámica precisa de la calefacción por suelo radiante es necesaria para encontrar con exactitud las pérdidas de calor en el suelo, mientras que utilizando la temperatura promedio del concreto no puede hacerse responsable de los valores dinámicos y absolutos de la pérdida de calor.

2.1.2 Investigación de S. Flores Larsen

S. Flores Larsen , L. Saravia¹, G. Lesino, M. Condorí, R. Caso, H. Suligoy y C. Fernández del INENCO –(Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales) realizan un estudio térmico bidimensional de un piso radiante. Se utiliza la similitud térmico-eléctrica para simular las transferencias de calor mediante el programa SIMUSOL, y a si predecir el perfil de temperatura en el interior y en la superficie del piso para estimar los aportes energéticos por convección y radiación. Este programa permite trabajar con transferencias de calor conductivas, convectivas y radiativas. En general, la mayoría de los modelos simplifican la transferencia radiativa debido a que introduce alinealidades de difícil manejo en las ecuaciones. Debido a que, aproximadamente un 40% de la energía del piso es transferida por radiación, por lo que es imprescindible contar con un modelo que permita trabajar con transferencia radiativa, lo cual no es un problema para SIMUSOL, que cuenta con algoritmos modernos y veloces para la resolución de este tipo de modelos. Estos investigadores realizaron un prototipo construido recientemente en dependencias del INENCO, el cual utiliza colectores solares para el calentamiento del aire.

Para la investigación se dispuso de un prototipo construido en las instalaciones del INENCO en la Universidad Nacional de Salta, que cuenta con el sistema de conductos incorporado en el contra piso. Este es un módulo de 3 m x 2.5 m de planta y 2.3 m de altura, con paredes de ladrillo cerámico hueco y techo de chapa con aislamiento (5 cm de poliestireno expandido de alta densidad). En el contra piso se colocaron 18 conductos de chapa galvanizada de 7.5 cm de

diámetro, separados 10 cm entre sí, para la circulación de aire por debajo del contra piso. Un canal colector rectangular de 18 cm x 24 cm a la entrada. El piso está aislado térmicamente por debajo y por los laterales (4 cm de poliestireno expandido de alta densidad) para evitar las pérdidas de calor por el suelo y hacia el ambiente exterior. En este prototipo, el aire que circula por los conductos es calentado por dos colectores solares (5 m²) conectados en paralelo, para lo cual se utiliza circulación forzada mediante un ventilador



Figura 1. Detalle del piso radiante utilizado en el prototipo del INENCO. Se observan los termopares embutidos en el hormigón y el canal de distribución de aire.

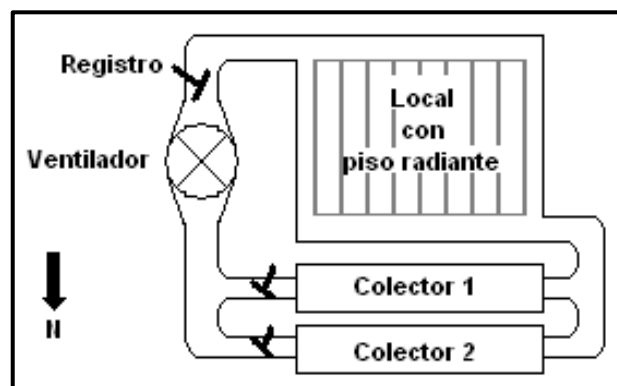


Figura 2. Esquema del sistema completo de calentamiento con colectores solares.

El periodo de monitoreo se subdividió en dos: uno en que el sistema estuvo apagado y el piso sin flujo de aire caliente (5 y 6 de agosto) y otro con el piso radiante en funcionamiento (7 y 8 de agosto). Las mediciones de temperatura se realizaron mediante termopares conectadas a un sensor para monitorear la temperatura exterior y un termómetro infrarrojo de mira directa para temperatura superficial. La velocidad de aire se midió con una sonda y los datos de radiación fueron suministrados por el Laboratorio de Radiación del INENCO.

En los resultados se encontró que “el aporte de calor del piso en estado estacionario y para temperaturas del aire constantes, rondó los 130 W/m², de los cuales un 60% proviene de la radiación y un 40% de la transferencia por convección.” (Flores, Saravia1, Condorí, 2006, pág. 7)

Una ventaja que tiene este sistema es reinyectar parte del aire de los conductos al ambiente, para calentarlo rápidamente (en este caso, alrededor de un 50% se entrega al ambiente por convección y un 50% por radiación), lo cual es una ventaja frente a los sistemas hidrónicos, en los que se necesitan algunas horas para que la masa de acumulación comience a transmitir el calor acumulado.

2.1.3 Investigación de Ali A. Badran

Los investigadores Ali A. Badran, Mohammad A. Hamdan del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Tecnología, de la universidad de Jordania, realizaron un estudio comparativo de la calefacción por suelo usando colectores y estanques solares. Con el objeto de “realizar una comparación experimental de dos sistemas de calefacción por suelo radiante. Uno utiliza colectores solares y el otro utiliza los estanques solares como la principal fuente de calor” (Badran, 2004, pág. 5). Del cual se obtuvieron resultados que muestran que el sistema de colectores solares es 7% más eficiente que el sistema de estanque solar.

Como se muestra en la figura 3, el montaje experimental consta de dos habitaciones exactamente iguales de 3.4 m x 3.4 m de suelo y 2.8 m de altura. Las paredes del salón están hechas de bloques huecos de hormigón, de 15 cm de grosor, pegados en ambos lados. Cuentan con dos estanques solares (de agua de 5 m² de superficie cada uno, con un intercambiador de calor en cada estanque, se utilizaron con tubería de termoplásticos (22 m de largo, 16 mm de diámetro interior). Y nueve colectores solar (1,73 m X 0,75 m de superficie bruta cada una), junto con sus tanque de almacenamiento.

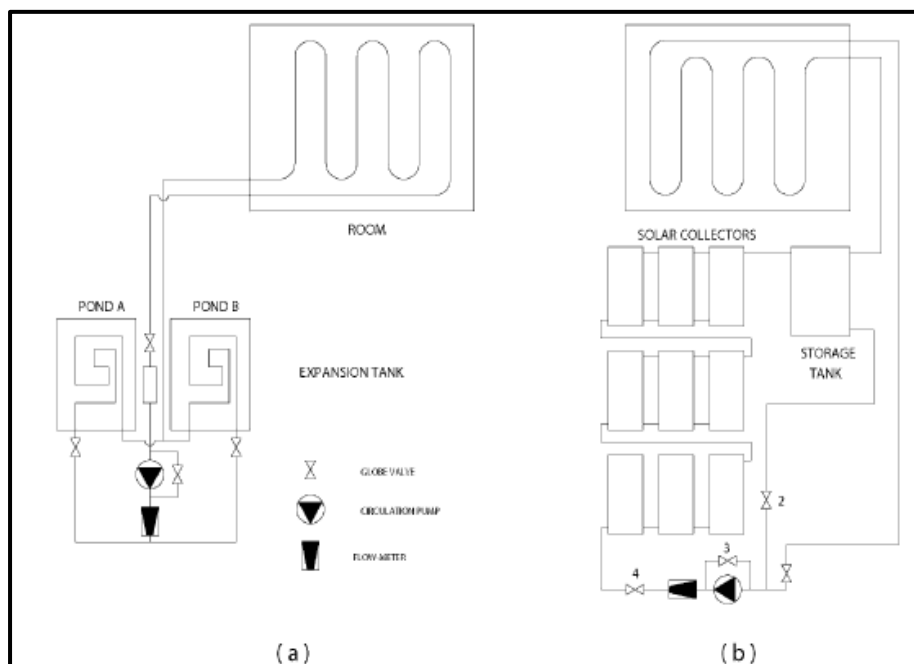


Figura 3. Montaje experimental de los dos sistemas: (a) el sistema de estanques, (b) el sistema de colectores.

Cada sistema fue provisto de una bomba de circulación con el mismo caudal y cabeza, y un medidor de flujo. La calefacción por suelo radiante consta de un sistema de tuberías en cada habitación (55 m de longitud de trabajo, de 20 mm de diámetro exterior a 300 mm de distancia). Con cuatro calentadores auxiliares (1.8 KW cada uno), dos de los cuales se han instalado en cada habitación con la temperatura necesaria del sistema de control. Con la finalidad de comparar en las dos habitaciones la calefacción por suelo radiante, realizadas por estanques solares y por sistemas de colectores solares.

“Los objetivos de este análisis es la formulación de expresiones para los parámetros de los dos sistemas en los que se basa la comparación entre ellos” (Badran, 2004, pág. 2). El parámetro más importante es la eficiencia global de dichos dispositivos.

A partir de este análisis se obtuvieron los siguientes resultados de la prueba para los dos sistemas: el sistema de colectores solares (SCS) y el sistema de estanque solar (SPS).

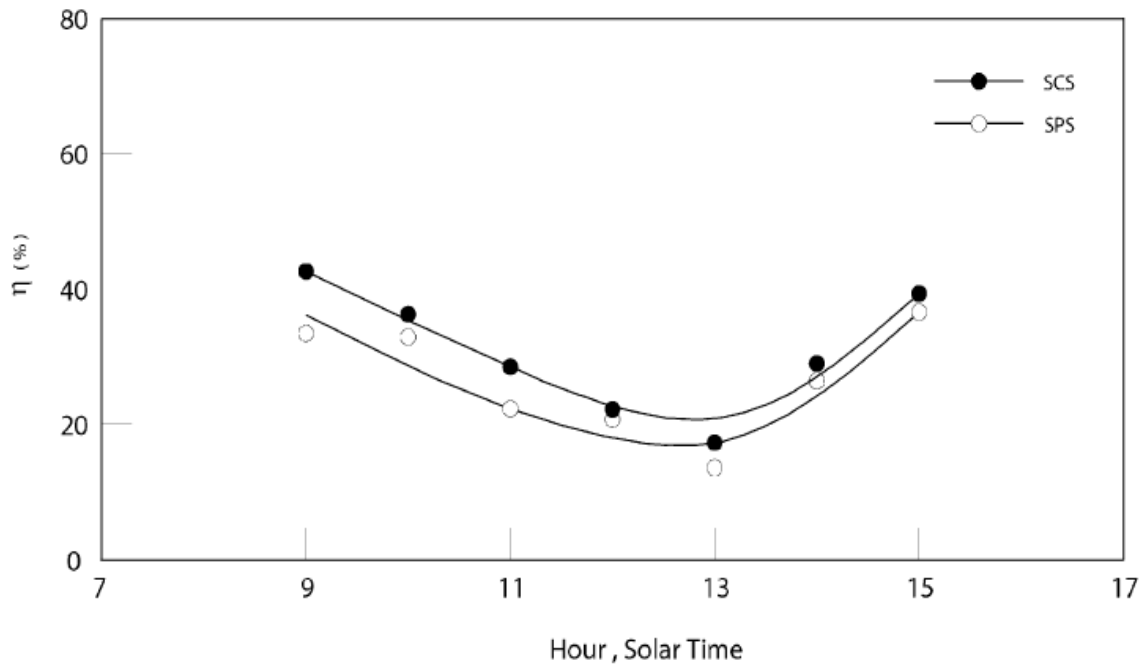


Figura 4. Eficiencia global de los dos sistemas.

La figura 4 muestra un comportamiento típico de la eficiencia global en un período de tiempo de 6 hrs (9:00 a.m. - 3:00 pm). Aquí se observa que la eficiencia SCS es mayor que la del SPS. Aunque la variación en ésta dura todo el día y es grande para los dos sistemas, también hay una diferencia continua de la eficiencia que van del 6% en las horas de la mañana y mediodía y después es de cerca del 3%. La eficiencia media diaria de los sistemas son 30% para el SCS y 27% para el SPS. La razón por la que la eficiencia baja al mediodía en ambos sistemas es porque la radiación solar máxima se produce a esta hora. Sin embargo, la producción de energía útil para la habitación es casi constante o varía en una menor tasa debido a la gran masa térmica que tiene la habitación.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Confort térmico

“El confort implica el control de la temperatura, la humedad, el movimiento del aire y el de las fuentes radiantes que interactúan con los ocupantes de dicho espacio. Los olores desagradables, el polvo (partículas suspendidas), el ruido y la vibración son factores adicionales que pueden hacer que los ocupantes del mismo se sientan incómodos” (Ma Quiston, 2008, pág. 89). Aunque también deben tomarse en cuenta factores no ambientales tales como la vestimenta y el nivel de actividad de los ocupantes.

La cantidad de calor generada y disipada por el cuerpo humano varía de manera considerable en función de la actividad y la edad, así como de talla corporal y el género de la persona. El cuerpo humano posee un complejo sistema de regulación que funciona para mantener la temperatura interna a unos 36.9°C, independientemente de las condiciones ambientales. Por lo general una persona normal y sana se siente más cómoda cuando el ambiente se mantiene en condiciones en las que el cuerpo puede conservar fácilmente un balance térmico con su entorno.

Los factores ambientales que afectan el balance térmico de una persona, y que por lo tanto, influyen en el confort térmico son:

- La temperatura de bulbo seco del aire circundante
- La humedad del aire circundante
- La velocidad relativa del aire circundante
- La temperatura de toda superficie que incida directamente sobre cualquier parte del cuerpo y que de esta manera pueda intercambiar radiación.

“Los mecanismos básicos que el cuerpo utiliza para controlar la temperatura corporal son: el metabolismo, la circulación sanguínea próxima a la superficie de la piel (circulación sanguínea cutánea), la respiración y la sudoración. El metabolismo determina la velocidad a la que se transforman las reservas químicas en energía térmica dentro del cuerpo, y la circulación

sanguínea controla la velocidad a la que esta energía térmica se transporta hacia la superficie de la piel.” (Ma Quiston, 2008)

El metabolismo es la fuente de energía del cuerpo, y la cantidad de energía que libera depende de la cantidad de actividad muscular. Normalmente, toda la actividad muscular se convierte en calor en el cuerpo, pero durante el trabajo físico duro esta proporción puede aumentar al 75%.

La energía generada por el metabolismo de una persona varía de manera considerable en función de la actividad que se realiza. Existe una unidad que expresa el índice metabólico por unidad de superficie corporal, llamada Met, que se define como el índice metabólico de una persona en actitud sedentaria, un Met equivale a 58.2 W/m^2 de superficie del cuerpo. Un adulto normal tiene una superficie de 1.72 m^2 y una persona en el confort térmico con un nivel de actividad de 1 Met tendrá una pérdida de calor de aproximadamente 100 W. Nuestro metabolismo está en su nivel más bajo cuando dormimos (0.8 Met) y al más alto durante actividades deportivas donde se alcanza frecuentemente 10 Met.

Tabla 1. Generación típica de calor metabólico para diferentes actividades.

| PRODUCCIÓN DE ENERGÍA METABÓLICA | | |
|---|----------------|-----|
| | W/m^2 | met |
| Descansar | | |
| Dormir | 46.5 | 0.8 |
| Estar reclinado | 46.5 | 0.8 |
| Sentado tranquilo | 58.2 | 1 |
| Parado relajado | 69.8 | 1.2 |
| Caminar (sobre terreno plano) | | |
| 0.89 m/s | 116.3 | 2 |
| 1.34m/s | 151.32 | 2.6 |
| 1.79m/s | 221.16 | 3.8 |
| | | |
| | | |

| | | |
|--|--------------|---------|
| Actividad de oficina | | |
| Leer sentado | 58.2 | 1 |
| Escribir a mano | 58.2 | 1 |
| Escribir en teclado | 64.02 | 1.1 |
| Archivar sentado | 69.8 | 1.2 |
| Caminar | 98.94 | 1.7 |
| Levantar/empacar | 122.2 | 2.1 |
| Actividades de trabajo | | |
| Cocinar | 93.12 | 1.6 |
| Limpiar la casa | 116.4-197.8 | 2-3.4 |
| Trabajar con máquinas de coser | 104.76 | 1.8 |
| Trabajo ligero en la industria eléctrica | 139.68 | 2.4 |
| Manejo de bolsas de 50kg | 232.8 | 4 |
| Trabajo pesado | 232.8-279.36 | 4-4.8 |
| Actividades recreativas | | |
| Bailar en reuniones | 139.6 - 256 | 2.4-4.4 |
| Ejercicios calisténicos | 174.6 | 3 |
| Tenis individual | 209.5 - 232 | 3.6-4 |
| Basquetbol | 291 - 442.3 | 5-7.6 |

Fuente: Elaboración propia con datos del ASHRAE Handbook Fundamentals Volume

Otra variable personal que afecta el confort es el tipo y cantidad de ropa que lleva puesta una persona. Su valor de aislamiento se expresa en términos de una unidad denominada Clo, la cual equivale a 0.880. El vestido reduce la pérdida de calor del cuerpo, por lo tanto, el vestido es clasificado por su valor de aislamiento. La escala del Clo se designa desde una persona desnuda con un valor de 0 Clo hasta una persona con un traje típico que tiene un valor de 1.0 Clo. El valor de aislamiento térmico de la ropa a menudo se mide con la unidad (Clo), dónde: 1 (Clo) = $0.155 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$

Tabla 2. Valores del aislamiento de la ropa en Clo, según el INSHT-NTP74.

| El valor de aislamiento térmico de la ropa a menudo se mide con la unidad (Clo), dónde: $1 \text{ (Clo)} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ | | | | | | |
|--|---|-------------|-------|----------------|----|------|
| | | | (Clo) | Rango en (Clo) | | |
| Nivel | 0 | Desnudos | 0.00 | 0.00 | a | 0.30 |
| Nivel | 1 | Ropa Ligera | 0.50 | 0.30 | a | 0.70 |
| Nivel | 2 | Ropa Media | 1.00 | 0.70 | a | 1.30 |
| Nivel | 3 | Ropa Pesada | 1.50 | más | de | 1.30 |

Fuente: <http://www.ergonautas.upv.es/herramientas>

Tabla 3. Valores del aislamiento de la ropa en Clo.

| | | Coefficiente de Transmisión Térmica | Resistencia Térmica |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Ropa | | (Clo) | m ² K / W |
| Ropa Interior | Tanga | 0.02 | 0.003 |
| | Bragas o calzones cortos | 0.03 | 0.005 |
| | Bragas o calzones a media pierna | 0.04 | 0.006 |
| | Sostenedor | 0.01 | 0.002 |
| Camiseta | Camiseta sin mangas | 0.06 | 0.009 |
| | Camiseta manga corta | 0.09 | 0.014 |
| | Camiseta con mangas largas | 0.12 | 0.019 |
| | Camisetas con mangas y Cuello Largo | 0.06 | 0.009 |
| | | | |
| Blusas y Camisas | Manga corta | 0.09 | 0.029 |

| | | | |
|------------------------------|--|------|-------|
| | blusa ligera con mangas largas | 0.15 | 0.023 |
| | Camisa ligera con mangas largas | 0.20 | 0.031 |
| | Normal con mangas largas | 0.25 | 0.039 |
| | camisa con mangas largas | 0.30 | 0.047 |
| | Blusa mangas largas con cuello | 0.34 | 0.053 |
| | | | |
| Pantalones | Pantalones Cortos | 0.06 | 0.009 |
| | Bermudas | 0.11 | 0.017 |
| | Pantalones Ligeros | 0.20 | 0.031 |
| | Pantalones Normales | 0.25 | 0.039 |
| | Pantalones de Franela | 0.28 | 0.043 |
| | | | |
| Suéteres | Suéter delgado | 0.20 | 0.031 |
| | Suéter fino con mangas y cuello | 0.26 | 0.04 |
| | Suéter grueso | 0.35 | 0.054 |
| | suéter gruesa con mangas y cuello | 0.37 | 0.057 |
| | | | |
| Chaquetas o Cazadoras | Chaqueta de ligera sin forro | 0.13 | 0.02 |
| | Chaqueta Ligera de Verano | 0.25 | 0.039 |
| | Chaqueta de Etiqueta | 0.30 | 0.047 |
| | Chaqueta | 0.35 | 0.054 |
| | Chaqueta con Relleno de Pluma de Ganso | 0.55 | 0.085 |
| | | | |
| | Abrigo | 0.60 | 0.093 |
| | | | |
| Calcetines y Zapatos | Calcetines | 0.02 | 0.003 |
| | Zapatos | 0.02 | 0.003 |
| | Zapatillas | 0.03 | 0.005 |
| | Zapatos Altos | 0.04 | 0.006 |
| | Calcetines de tobillo grueso | 0.05 | 0.008 |
| | | | |
| | Botas | 0.05 | 0.008 |
| | Calcetines largos de lana | 0.10 | 0.016 |
| | | | |
| Faldas | Falda ligera de 15 centímetros por | 0.01 | 0.016 |

| | | | |
|-----------------|---------------------------------|------|-------|
| | encima de la rodilla | | |
| | Falda ligera 15 centímetros por | 0.18 | 0.028 |
| | debajo de la rodilla | | |
| | Falda Gruesa hasta la rodilla | 0.25 | 0.039 |
| | | | |
| Vestidos | Vestido Ligero sin Mangas | 0.25 | 0.039 |
| | Vestido de Invierno | 0.40 | 0.062 |
| | de Vestir Manga Larga | | |
| | Mallas de Invierno | 0.10 | 0.016 |

Fuente: <http://www.pais-a.com.mx/clo.htm>

Para comprender el confort térmico es necesario considerar las relaciones que existen entre el medio ambiente térmico y las sensaciones fisiológicas y psicológicas que experimentan las personas frente a las condiciones generadas por el ambiente. Existen dos enfoques por los cuales se han desarrollado estudios acerca del confort:

“A partir de modelos de balance térmico del cuerpo; este método de cálculo se basa en el confort térmico en estado estable, Obtenido a partir de investigaciones en cámaras climáticas de ambiente controlado. Es decir, que estos estudios se basan, de manera preponderante, en las respuestas fisiológicas del organismo.

A partir de modelos de adaptación. Los cuales se derivan de estudios “en campo”, es decir en condiciones reales y en relación al confort térmico de estado estable. Este método asume que la gente se adapta o trate de adaptarse a las condiciones térmicas modificando su comportamiento o las condicionantes ambientales inmediatas; es decir; que hace ajustes en su arropamiento, postura, horario de actividad, dieta, bebida, ventilando, etcétera, además de ajustes psicológicos inconscientes” (Fuentes,2007, pág. 106)

Podemos definir el confort como un estado de completo bienestar físico, mental y social. El cual depende de multitud de factores personales y parámetros físicos. De entre todos los factores, el confort térmico representa el sentirse bien desde el punto de vista del ambiente higrotérmico exterior a la persona. Los límites extremos, desde el punto de vista térmico, pueden resultar dañinos, e incluso mortales, para el ser humano. Ello debido a que el ser humano es

homeotérmico, es decir, debe mantener ciertas partes vitales a temperatura aproximadamente constante. Dentro del campo de la arquitectura bioclimática el confort se divide en: térmico, lumínico, acústico, olfativo y psicológico.

En esta investigación nos enfocaremos al confort térmico ya que se pretende estudiar las características térmicas que puede llegar a tener un espacio en donde se implementara un sistema de calefacción hidrónica solar.

“El confort térmico se refiere a la percepción del medio circundante que se da principalmente por medio de la piel, aunque en el intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente, los pulmones intervienen de manera muy importante. A través del diseño de los espacios arquitectónicos y sistemas pasivos de climatización es posible conseguir condiciones térmicas confortables, lo cual repercute en la salud y en el confort de los usuarios” (Fuentes, 2004, pág. 20).

Existen algunas condiciones atmosféricas que afectan al confort humano como lo es la temperatura y la humedad. El adecuado control de la temperatura del medio ambiente que circunda el cuerpo humano elimina el esfuerzo fisiológico de acomodación, obteniéndose con ellos un mayor confort y la consiguiente mejora del bienestar físico y de las condiciones de salubridad.

Una gran parte del calor que posee el cuerpo humano se disipa por evaporación a través de la piel. Un exceso de humedad no sólo da como resultado reacciones fisiológicas perjudiciales, sino que también afecta a las cualidades de muchas de las sustancias contenidas en el lugar de que se trate, y muy particularmente sobre los vestidos y muebles.

Las transferencias sensibles, (radiación, convección, y casualmente conducción) son menores según se eleva la temperatura, entonces, la disipación del calor metabólico, sólo se efectúa por medio de transferencias latentes, más difíciles de controlar cuanto más alta sea la humedad ambiente. Por encima de un cierto nivel de humedad, se produce un fenómeno de incomodidad

fisiológica, que puede llegar a manifestarse en forma de sudor. Por lo tanto, en condiciones de verano, el ambiente será más confortable, cuanto más seco sea el aire.

El confort térmico es una sensación neutra de la persona respecto a un ambiente térmico determinado. Según la norma ISO 7730 éste “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” (Ochoa de la Torre, 2003, pág. 3). El cual, depende de varios parámetros globales externos, como la temperatura del aire, la velocidad del mismo y la humedad relativa, y otros específicos internos como la actividad física desarrollada, la cantidad de ropa o el metabolismo de cada individuo.

Tabla 4. Factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort.

| Parámetros de confort | | Factores de confort | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|--|--|
| Ambientales | Materiales | Fisiológicos | Cognitivos | Arquitectónicos | |
| Temperatura del aire | Reflectividad | Sexo | Aclimatación | Movilidad del sujeto | |
| Humedad relativa | Absortividad | Edad | Vestimenta | Dimensiones y proporciones del espacio | |
| Velocidad del viento | Transmisividad | Constitución corporal | Expectativas de confort | Dispositivos de control pasivos | |
| Radiación solar | Conductividad Térmica | Actividad | Conocimiento clima | Dispositivos de control activos | |
| Temperatura radiante | Emisividad | Estado de salud | Conocimiento entorno | | |
| | Capacitancia | Historial térmico | | | |
| | | Tiempo de permanencia | | | |

Para llegar a la sensación de confort, el balance global de pérdidas y ganancias de calor debe ser nulo, conservando de esta forma nuestra temperatura normal, es decir cuando se alcanza el equilibrio térmico.

2.2.2 Energía solar térmica

“La energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión; Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres”. (Alija, 2008, párr. 1)

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía procedente del Sol para transferirla a un medio portador de calor, generalmente agua o aire. La energía solar presenta dos características importantes que son: dispersión e intermitencia.

La Dispersión: es la densidad de la energía solar, la cual apenas alcanza 1 kw/m^2 , siendo un valor muy por debajo del que se requiere para producir trabajo. Esto significa que, para obtener densidades energéticas elevadas, se necesitan grandes superficies de captación, o sistemas de concentración de los rayos solares.

Intermitencia: se refiere a la continuidad de la energía solar. La energía solar no es continua, lo cual hace necesarios sistemas de almacenamiento.

El aprovechamiento de la energía solar se puede llevar a cabo de dos formas: el aprovechamiento pasivo y el activo. La primera es el aprovechamiento de la energía solar directa sin transformarla en otro tipo de energía para su utilización. En otras palabras, es aquella que no requiere sistemas mecánicos ni aporte externo de energía, aunque puede ser complementada por ellos. Ésta, se usa en la arquitectura para sistemas de calefacción en climas fríos, a través de ventanas orientadas hacia donde el Sol emite sus rayos durante la mayor parte del día.

Por su parte, el aprovechamiento activo de la energía solar consiste en el aprovechamiento energético mediante colectores térmicos a baja, media y alta temperatura. Se emplean como receptores de energía a los colectores o paneles solares planos que permiten calentar el agua para uso sanitario. Estos sistemas activos térmicos o sistemas de conversión térmica utilizan el calor de la radiación solar transformando la energía solar en energía térmica a través de un fluido. La conversión térmica depende de la temperatura a la que calentamos el fluido: que puede ser a baja, media y alta temperatura.

El aprovechamiento activo de la energía solar ofrece soluciones más interesantes, ya que ofrece alternativas para el uso de los recursos naturales que, comparadas con otras fuentes de energía, logran beneficios económicos sin deteriorar tales recursos.

2.2.3 Radiación solar.

La radiación es una forma de energía a la que estamos expuestos constantemente, y nos damos cuenta de su existencia debido a que la percibimos en forma de calor.

La luz que es visible solo es una derivación del espectro solar, el hecho de que los humanos no podamos ver otros tipos de energía, no quiere decir que no exista, entre las formas de energía electromagnética se encuentran las ondas de radio, la radiación infrarroja, la radiación ultravioleta y los rayos X.

Estas formas de energía se comportan siguiendo el principio de la teoría ondulatoria, que no es más que la energía viajando a lo largo de una trayectoria sinusoidal con una velocidad tan rápida como la luz.

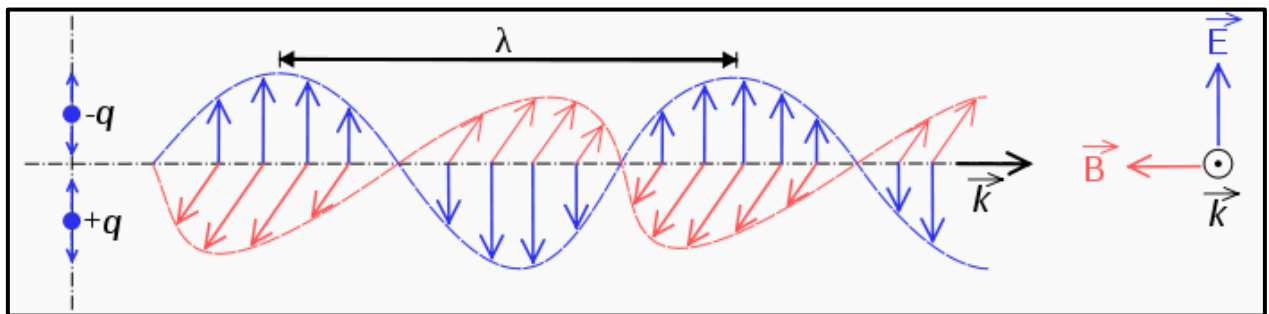


Figura 5. Vista lateral (izquierda) de una onda electromagnética a lo largo de un instante y vista frontal (derecha) de la misma en un momento determinado. De color rojo se representa el campo magnético y de azul el eléctrico.
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wik>.

La radiación solar es la energía emitida por el Sol que se propaga en forma de radiación de ondas electromagnéticas o fotones. Esta energía que llega a la tierra es la más abundante y proviene de una fuente única y prácticamente inagotable. El Sol es una esfera gaseosa que produce una enorme cantidad de energía de radiación y solo una pequeña parte es interceptada por nuestro planeta. La energía se produce en el Sol debido a constantes reacciones termonucleares que se llevan a cabo en su interior a temperaturas de varios millones de grados.

La reacción nuclear básica en el interior del Sol es la fusión nuclear en la cual cuatro protones de hidrogeno se combinan para formar un átomo de Helio, y aquí se pierde una masa de 4 megatoneladas por segundo, la cual se convierte en energía de radiación electromagnética.

El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck¹ a una temperatura de unos 6000 °K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía, por unidad de tiempo y área que alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m² (Watts por metro cuadrado).

La cantidad de energía solar (directa y reflejada) que se recibe durante la duración del día, en un punto determinado del planeta, sobre una superficie colectora horizontal de 1 m², recibe el nombre de insolación. El cual, deriva de la palabra inglesa insolation, la que, a su vez, representa un acronismo derivado de tres palabras del mismo idioma: incident solar radiation (radiación solar incidente).

Se usan diferentes unidades para expresar el valor de la insolación de un lugar. La más conveniente para nuestra aplicación es el Kilowat/hora por metro cuadrado (KWh/m²), o su valor equivalente en miliwat/hora por centímetro cuadrado (mWh/cm²). Si la energía del sol se utilizara para calentar agua, resultará más conveniente usar como unidad para el diseño las calorías por metro cuadrado (Cal/m²) o los Btu/f² (British thermal unit por pie cuadrado).

La atmósfera de la Tierra constituye un importante filtro que hace inobservable radiaciones de longitud de onda inferior a las 0.29 micras por la fuerte absorción del ozono y oxígeno. Ello nos libra de la ultravioleta más peligrosa para la salud. La atmósfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a las 24 micras, esto no afecta a la radiación solar pero sí a

¹ Cuando un cuerpo emite radiación electromagnética, tanto su carácter como intensidad o composición espectral (dependencia de la frecuencia) depende en general de su temperatura absoluta T y de la naturaleza del propio cuerpo emisor

la energía emitida por la Tierra que llega hasta las 40 micras y que es absorbida. A este efecto se lo conoce como efecto invernadero.

El máximo (Ley de Wien) ocurre a 20.475 micras es decir a 4750 Å (angstrom). Considerando la ley de Wien ello corresponde a una temperatura de:

$$T = \frac{2897.6 \cdot \mu m \cdot K}{0.475 \cdot \mu m} = 6099K \dots \dots \dots (1)$$

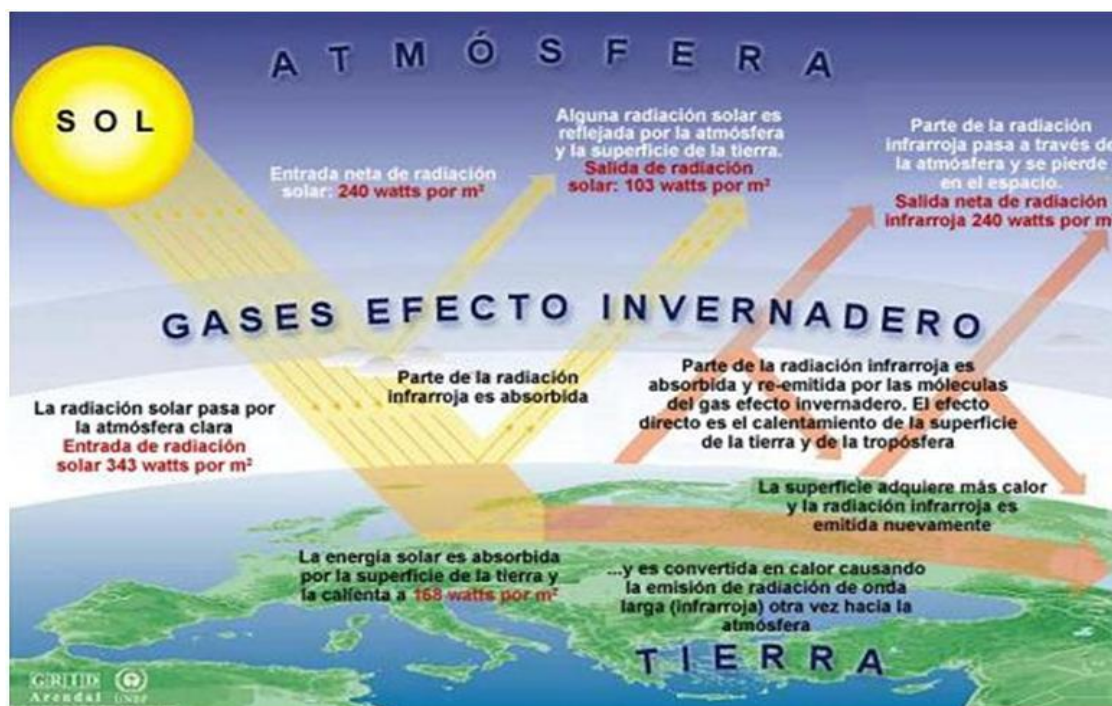


Fig. 6. Efecto de la radiación solar sobre la tierra. Fuente: <http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat>

Pero la emisión solar difiere de la de un cuerpo negro, sobre todo en el ultravioleta. En el infrarrojo se corresponde mejor con la temperatura de un cuerpo negro de 5779°C y en el visible con 6090 K. Ello nos habla de que la radiación solar no se produce en las mismas capas y estamos observando la temperatura de cada una de ellas donde se produce la energía.

“La radiación ultravioleta ocupa una pequeña porción del espectro electromagnético. Esta comprende de los 400 a los 100 nm, para fines prácticos y para agilizar los estudios se ha realizado una subdivisión del espectro de la radiación ultravioleta, la idea de realizar esta subdivisión nació porque al decrecer su longitud de onda, la radiación UV impacta de manera significativa la biología de los seres vivos” (Flutchaire, 2006, pág. 11)

De acuerdo al segundo congreso sobre la Luz realizado en 1932 la radiación UV fue dividida de acuerdo a su aplicación y a su área de estudio (ver tabla 5):

- Ultravioleta tipo A o ultravioleta cercano (400-315 nm): esta longitud de onda tiene la característica de tener frontera con la luz visible y llegar hasta longitudes de onda que alcanzan la superficie de la tierra.
- Ultravioleta tipo B o Ultravioleta medio (315-280 nm): esta se encuentra en el límite de la onda corta que incide en la superficie terrestre y la porción de mayor absorción de oxígeno molecular.
- Ultravioleta tipo C o Ultravioleta lejano (280-100 nm): esta se extiende a partes de la zona de mayor absorción de oxígeno molecular hasta el límite de transmisión de longitudes de onda del fluoruro de litio.

Tabla 5. Clasificación de la radiación ultravioleta de acuerdo al segundo congreso de la luz, agosto 1932.

| Tipo de radiación | Longitud de Onda |
|--------------------------|-------------------------|
| UVA | 400-315 nm |
| UVB | 315-280 nm |
| UVC | 280-100 nm |

Fuente: Flutchaire, 2006

Como lo habíamos mencionado anteriormente la radiación solar es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible,

infrarrojo y ultravioleta). Aproximadamente la mitad de las que recibimos, comprendidas entre $0.4\mu\text{m}$ y $0.7\mu\text{m}$, pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta. La porción de esta radiación que no es absorbida por la atmósfera, es la que produce quemaduras en la piel a la gente que se expone muchas horas al sol sin protección.

La radiación solar se mide normalmente con un instrumento denominado piranómetro. En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación:

- Radiación directa. Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
- Radiación difusa. Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Ésta va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.
- Radiación reflejada: La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.
- Radiación global. Es la radiación total, Es decir, es la suma de las tres radiaciones.

En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.

El nivel de la radiación UV en cierto lugar de la superficie terrestre depende de factores como: la posición solar, la altitud, la latitud, nubosidad, cantidad de ozono en la atmósfera y los niveles de contaminación. Los mayores niveles de radiación ultravioleta se presentan cuando el sol alcanza su elevación máxima, esto es, cuando los rayos están en una posición normal a la superficie expuesta

“La emisión de radiación solar no es constante debido a que esta varía cada 27 días debido al movimiento aparente del sol y por los cambios que sufre la fotosfera, estas variaciones afectan principalmente a las longitudes de onda corta que por lo regular son absorbidas por la atmósfera terrestre ($\lambda < 290$ nm); debido a esto los efectos nocivos de la radiación UVB y UVC son mínimos.

Debido a la forma elíptica de la órbita solar, la distancia del sol a la tierra cambia alrededor de 3.4%, teniendo su mínimo en el Perihelio, que es aproximadamente el 3 de enero y un máximo en el afelio alrededor del 5 de julio. Esto da como resultado una variación en la intensidad alrededor de un 7% entre ambas fechas. Lo anterior aunado a la inclinación del eje de rotación de la tierra tiene como resultado un ligero incremento de los niveles de radiación ultravioleta en el verano del hemisferio sur, mientras que son menores en el verano del hemisferio norte” (Flutchaire, 2006, pág. 17)

Otro punto importante es que la calidad como la intensidad de la radiación UV recibida por la tierra sufren variaciones con la elevación del Sol sobre el horizonte, esto se conoce como altitud solar.

La radiometría es la ciencia encargada de medir la radiación, siendo los conceptos radiométricos más comunes los siguientes.

- Energía de radiación (\mathcal{E}): es la energía total emitida por un cuerpo radiante, representada en joule (J).
- Potencia de radiación o flujo de energía de radiación: se define como la razón a la cual emite o recibe un objeto la energía de radiación por unidad de tiempo, expresado como:

$$P = \frac{d\mathcal{E}}{dt}, W \dots \dots \dots (2)$$

- La irradiación o densidad de flujo de energía de radiación, se define como la razón a la cual la energía de radiación es emitida o recibida por un objeto por unidad de tiempo y por unidad de área

$$I = \frac{d}{dA} \left(\frac{d\mathcal{E}}{dt} \right) = \frac{dP}{dA} \left(\frac{W}{m^2} \right) \dots \dots \dots (3)$$

- La radiancia se define como la densidad de flujo de energía de radiación por unidad de ángulo sólido (expresado en estereorradianes, Sr), la cual es emitida o recibida por la superficie de un objeto, perpendicular a la dirección de propagación.
- La irradiación se mide como la densidad de flujo de energía de radiación que emite o recibe un objeto durante un cierto tiempo, dicho en otras palabras, es la integral de la irradiancia a lo largo de un cierto tiempo. La irradiación se suele expresar en Watt-hora/m² (Wh/m²) y en Horas Pico (HP).

CAPITULO III

ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CUIDAD DE MÉXICO

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y MESOCLIMA



Fig. 7. Ubicación geográfica del Distrito Federal

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), señala que el territorio del Distrito Federal se localiza en la provincia geológica de Lagos y Volcanes del Anáhuac. El límite norte del Distrito Federal está dado por la sierra de Guadalupe del que forma parte el cerro del Tepeyac.

Hacia el centro oriente del Distrito Federal se localiza la sierra de Santa Catarina, una cadena de volcanes apagados cuyo punto más alto es el volcán de Guadalupe o El Borrego, que se eleva 2,780 metros sobre el nivel del mar. En algunas descripciones de la geografía capitalina se suele incluir al cerro de la Estrella como parte de la sierra de Santa Catarina.

La planitud del valle de México en el que se asienta la mayor parte de los habitantes del Distrito Federal sólo es interrumpida por pequeñas lomas y cerros, de los cuales destacan el peñón de los Baños localizado cerca del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Más al sureste, en la salida a Puebla, se levanta el peñón Viejo.

En el poniente de la ciudad se levanta el cerro de Chapultepec. Es un pequeño monte que marca el inicio de las serranías que recorren desde el oeste hasta el sureste del Distrito Federal, y separan al valle de México de los valles de Toluca y de Morelos. La sierra de las Cruces es parte de ese sistema, de ella bajan la mayor parte de los ríos que aún surcan el Distrito Federal.

Al oriente de la sierra de las cruces se encuentra el volcán Ajusco, que es la cumbre más elevada del Distrito Federal, y da su nombre a la serranía que cierra la cuenca de México por el sur. Está

cadena montañosa pertenece al Eje Neo volcánico y también recibe el nombre de Sierra de Ajusco-Chichinauhtzin. Entre otros, forman parte de ella los volcanes Xitle, Chichinauhtzin, Tláloc y Teuhtli. La serranía del Ajusco aloja varios valles de tierra fría en los que sus pobladores practican la agricultura de trigo, avena y maíz. De ellos los más importantes es la meseta donde se asienta Parres, en Tlalpan; y el valle de Milpa Alta, que sube desde Tecómitl hasta San Pedro Atocpan, entre las faldas de los volcanes Teuhtli y Tláloc.

Por su altura sobre el nivel del mar, el Distrito Federal ocupa climas que van desde el templado hasta el frío húmedo y tundra alpina en las partes más altas de las sierras del sur. La zona urbana presenta un clima templado lluvioso, con temperaturas que pueden ser superiores a 28°C en algunos días del final de la primavera y temperaturas que pueden bajar a 0 °C o menos en enero.

El patrón de las lluvias indica que son más abundantes mientras mayor sea la altitud de un sitio. Por ello, las partes bajas cercanas al vaso del lago de Texcoco suelen ser más secas que las cumbres del Ajusco. De igual manera, la altitud condiciona la temperatura y los ecosistemas en el Distrito Federal. La zona que comprende el norte de Iztapalapa, los territorios de Iztacalco y Venustiano Carranza y el oriente de Gustavo A. Madero es la región más seca y templada. En contraste, las cumbres de Chichinauhtzin y el Ajusco están cubiertas de bosques de pino y encino, donde aún es posible encontrar algunas especies animales salvajes como el teporingo (endémico de las regiones volcánicas del centro de México), serpientes de cascabel y aves de diferentes especies.

Actualmente la zona metropolitana de la ciudad de México cuenta con una superficie aproximada de 1,500 km², la cual en su mayor parte presenta un clima templado. El verano es fresco, lluvioso y prolongado, mientras que el invierno es seco con lluvias escasas; se presenta poca oscilación anual y el clima es de tipo Ganges. De acuerdo a los datos de la estación del observatorio meteorológico de Tacubaya, su clasificación según Koppen-García es Cb(w1)w(i')g.

En cuanto a su agrupación bioclimática se considera semifrío, ya que la temperatura media del mes más caluroso es menor a 21°C y su precipitación pluvial anual se encuentra entre 650 y 1000 mm.

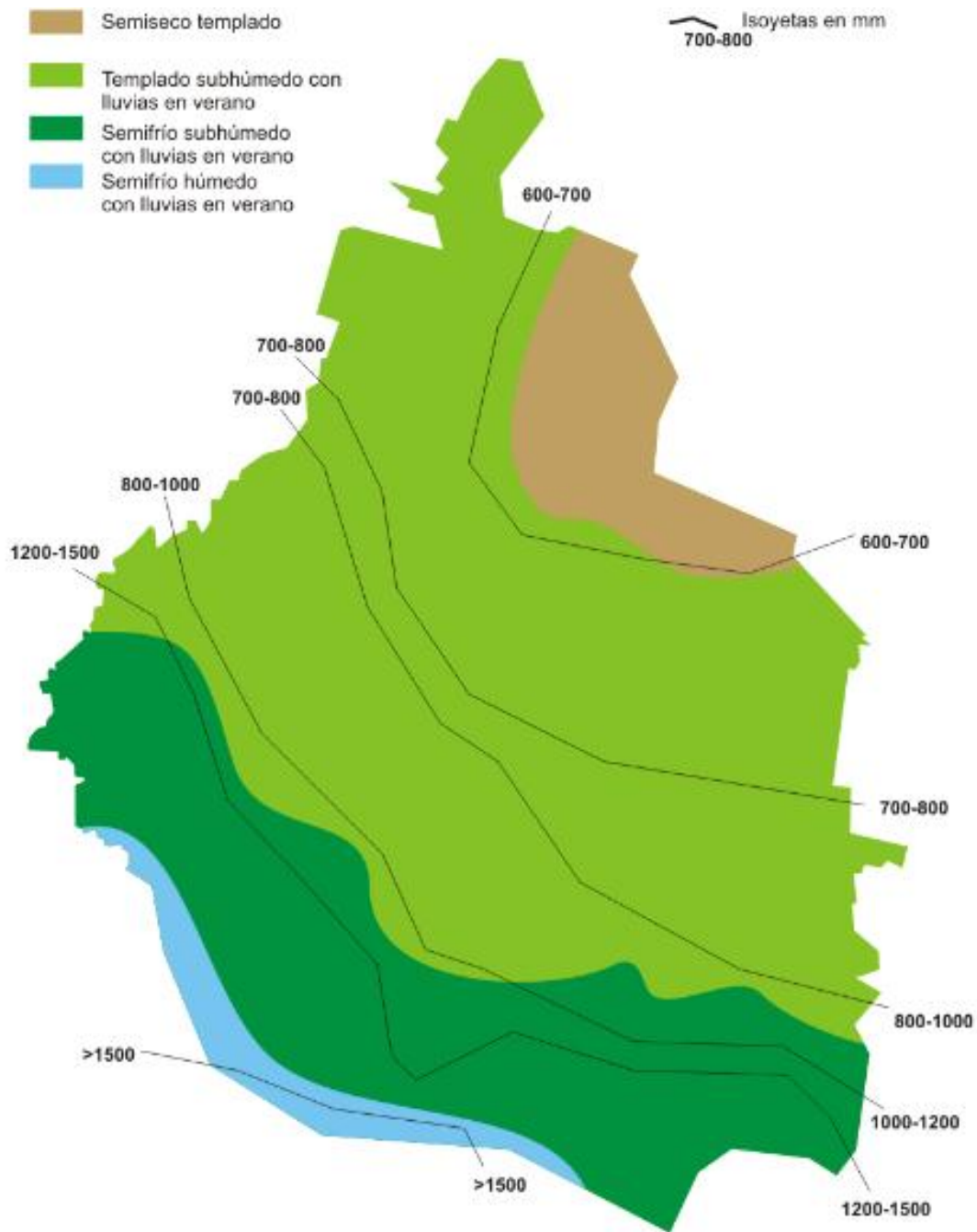


Fig.8. Mapa de climas en el Distrito Federal. Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/MX-DF-clima.png>

3.2 DATOS CLIMATOLÓGICOS

Tabla 6. Datos climáticos de la ciudad de México durante todo el año.

| TACUBAYA, D.F. | | 1981-2000 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------------|---|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| CLIMA | Cb w1(w) (f)g | Templado poca oscilación, tipo ganges no hay canícula | | | | | | | | | | | | | |
| BIOCLIMA | SEMIFRIC | | | | | | | | | | | | | | |
| LATITUD | 19° 24' | 19.40 | decimal | | | | | | | | | | | | |
| LONGITUD | 99° 11' | 99.18 | decimal | | | | | | | | | | | | |
| ALTITUD | 2309 msnm | | | | | | | | | | | | | | |

| fte | PARAMETROS | U | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------------------------|--------------------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| TEMPERATURAS | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | MAXIMA EXTREMA | °C | 27.6 | 29.3 | 33.3 | 33.0 | 33.9 | 33.5 | 29.6 | 28.3 | 28.5 | 28.0 | 27.9 | 28.0 | 33.9 |
| A | MAXIMA | °C | 21.7 | 23.4 | 25.7 | 26.8 | 26.8 | 25.3 | 23.8 | 23.9 | 23.3 | 22.9 | 22.9 | 21.9 | 24.0 |
| A | MEDIA | °C | 14.6 | 15.9 | 18.1 | 19.6 | 20 | 19.4 | 18.2 | 18.3 | 18.0 | 17.1 | 16.3 | 15.0 | 17.5 |
| A | MINIMA | °C | 7.4 | 8.5 | 10.4 | 12.3 | 13.2 | 13.5 | 12.5 | 12.7 | 12.7 | 11.2 | 9.7 | 8.1 | 11.0 |
| A | MINIMA EXTREMA | °C | -0.4 | 1.5 | -0.1 | 6.5 | 7.8 | 8.1 | 8.5 | 9.8 | 6.8 | 4.8 | 2.6 | 1.0 | -0.4 |
| E | OSCILACION | °C | 14.3 | 14.9 | 15.3 | 14.5 | 13.6 | 11.8 | 11.3 | 11.2 | 10.6 | 11.7 | 13.2 | 13.8 | 13.0 |
| HUMEDAD | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | TEMP.BULBO HUMEDO | °C | 8 | 8.5 | 9.4 | 10.6 | 11.9 | 13 | 12.8 | 13 | 12.8 | 11.5 | 9.9 | 8.7 | 10.8 |
| E | H.R. MAXIMA | % | 70 | 65 | 56 | 58 | 68 | 82 | 89 | 89 | 90 | 84 | 76 | 73 | 75.0 |
| A | H.R. MEDIA | % | 51 | 47 | 41 | 43 | 51 | 63 | 69 | 69 | 70 | 64 | 57 | 54 | 56.6 |
| E | H.R. MINIMA | % | 32 | 29 | 26 | 28 | 34 | 44 | 49 | 49 | 50 | 44 | 38 | 35 | 38.2 |
| A | TENSION DE VAPOR | mb | 20.4 | 20 | 21.7 | 22.9 | 25.1 | 27.1 | 27.5 | 27.9 | 28.4 | 26 | 23.4 | 21.3 | 24.3 |
| A | EVAPORACIÓN | mm | 126 | 148 | 212 | 212 | 206 | 166 | 151 | 146 | 125 | 135 | 117 | 120 | 1,864.0 |
| PRESION | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | MEDIA | hp | 774.8 | 774.4 | 773.8 | 774.0 | 774.3 | 775.0 | 775.7 | 775.4 | 774.7 | 775.2 | 775.4 | 775.3 | 774.8 |
| PRECIPITACION | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | MEDIA | mm | 7.6 | 7.0 | 8.9 | 22.5 | 66.5 | 140.0 | 189.5 | 171.2 | 139.8 | 72.4 | 12.6 | 8.2 | 846.2 |
| A | MAXIMA | mm | 26.7 | 46.3 | 39.2 | 63.4 | 127.0 | 309.4 | 320.7 | 311.1 | 317.1 | 194.2 | 64.0 | 46.8 | 320.7 |
| A | MAXIMA EN 24 HRS. | mm | 19.3 | 20.0 | 30.1 | 60.0 | 77.7 | 60.8 | 53.0 | 59.8 | 63.4 | 77.0 | 24.7 | 38.0 | 77.7 |
| A | MAXIMA EN 1 HR. | mm | 9.7 | 5.0 | 5.5 | 4.2 | 13.8 | 25.5 | 17.6 | 33.1 | 21.0 | 32.9 | 12.3 | 7.8 | 33.1 |
| A | MINIMA | mm | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 2.0 | 40.0 | 70.3 | 41.6 | 55.5 | 15.2 | 1.0 | 0.5 | 0.5 |
| DIAS GRADO | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | DIAS GRADO GENERAL | dg | -105.4 | -58.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -27.9 | -51.0 | -93.0 | -336.1 |
| E | DIAS GRADO LOCAL | dg | -184.1 | -129.9 | -75.6 | -28.1 | -16.7 | -34.1 | -72.5 | -69.4 | -76.1 | -106.6 | -127.1 | -171.7 | -1,091.8 |
| E | DG-enfriamiento | dg | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.7 | 3.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.6 |
| E | DG-calentamiento | dg | -173.4 | -137.8 | -121.2 | -91.0 | -82.9 | -82.8 | -104.1 | -100.9 | -100.1 | -123.2 | -136.2 | -163.9 | -1417.4 |
| INDICE OMBROTERMICO 28 | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | TEMP. EQUIVALENTE | coef. | -10.2 | -10.5 | -9.55 | -2.75 | 19.25 | 56 | 80.75 | 71.6 | 55.9 | 22.2 | -7.7 | -9.9 | 21.3 |
| E | INDICE DE ARIDEZ | coef. | -0.7 | -0.7 | -0.5 | -0.1 | 1.0 | 2.9 | 4.4 | 3.9 | 3.1 | 1.3 | -0.5 | -0.7 | 1.1 |
| E | SECO/HUMEDO | | S | S | S | S | S | H | H | H | H | H | S | S | H |
| RADIACION SOLAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | RADIACION MAXIMA DIRECTA | W/m2 | 474.0 | 572.0 | 603.0 | 534.0 | 489.0 | 406.0 | 389.0 | 408.0 | 416.0 | 424.0 | 428.0 | 396.0 | 461.6 |
| E | RADIACION MAXIMA DIFUSA | W/m2 | 171.0 | 176.0 | 194.0 | 216.0 | 229.0 | 226.0 | 228.0 | 228.0 | 221.0 | 204.0 | 182.0 | 175.0 | 204.2 |
| C | RADIACION MAXIMA TOTAL | W/m2 | 645.0 | 746.0 | 749.0 | 750.0 | 718.0 | 664.0 | 617.0 | 636.0 | 637.0 | 628.0 | 610.0 | 571.0 | 664.3 |
| A | INSOLACION TOTAL | hr | 178.2 | 201.6 | 216.1 | 186.2 | 184.0 | 138.6 | 135.2 | 147.8 | 118.9 | 151.0 | 170.1 | 150.5 | 1,978.2 |
| FENOMENOS ESPECIALES | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | LLUVIA APRECIABLE | días | 2.20 | 2.50 | 4.10 | 6.80 | 12.90 | 18.70 | 23.20 | 20.90 | 18.20 | 9.60 | 3.80 | 2.00 | 124.90 |
| A | LLUVIA INAPRECIABLE | días | 2.96 | 2.10 | 1.73 | 1.46 | 2.10 | 3.60 | 3.43 | 3.40 | 2.80 | 3.63 | 2.53 | 2.21 | 31.95 |
| A | DIAS DESPEJADOS | días | 11.20 | 7.60 | 9.20 | 4.60 | 3.20 | 2.00 | 0.80 | 1.70 | 3.60 | 3.30 | 6.70 | 8.30 | 62.20 |
| A | MEDIO NUBLADOS | días | 15.60 | 16.70 | 18.20 | 18.40 | 19.10 | 9.50 | 8.50 | 8.20 | 5.90 | 12.20 | 17.10 | 16.10 | 165.50 |
| A | DIAS NUBLADOS | días | 4.20 | 3.70 | 3.60 | 7.00 | 8.80 | 18.50 | 21.70 | 21.20 | 20.50 | 15.50 | 6.20 | 6.60 | 137.50 |
| A | DIAS CON ROCIO | días | | | | | | | | | | | | | 0.00 |
| A | DIAS CON GRANIZO | días | 0.40 | 0.10 | 0.00 | 0.10 | 0.40 | 0.10 | 0.40 | 0.70 | 0.40 | 0.10 | 0.00 | 0.10 | 2.80 |
| A | DIAS CON HELADAS | días | 0.10 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 |
| A | DIAS CON TORM.ELEC. | días | 1.10 | 2.10 | 1.70 | 4.20 | 8.40 | 7.70 | 9.30 | 11.20 | 7.40 | 4.90 | 1.30 | 0.70 | 60.00 |
| A | DIAS CON NIEBLA | días | 2.60 | 1.80 | 1.00 | 1.60 | 4.40 | 6.90 | 7.50 | 3.40 | 6.30 | 5.10 | 2.40 | 3.00 | 46.00 |
| A | DIAS CON NEVADA | días | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| A | VISIBILIDAD DOMINANTE | m | | | | | | | | | | | | | |
| VIENTO | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | DIRECCION DOMINANTE | | E | E | O | NE | N | N | NO | NO | N | NO | N | NE | N |
| D | CALMAS | % | 31.1 | 20.1 | 11.1 | 14.6 | 16.5 | 21.2 | 27 | 20.2 | 22.3 | 24.4 | 22.3 | 33.3 | 22.0 |
| D | VELOCIDAD MEDIA | m/s | 1.1 | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.1 |
| D | VELOCIDAD MAXIMA | m/s | 1.8 | 2.4 | 1.9 | 1.5 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.1 | 0.9 | 1.0 | 1.5 | 2.3 | 2.4 |

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya.

3.3 ANÁLISIS PARAMÉTRICO

3.3.1 Temperatura

Durante todo el año las temperaturas mínimas y medias se ubican por debajo de la zona de confort mensual. Con base en las temperaturas máximas se puede decir que las tardes de todo el año son confortables a excepción de los meses de marzo, abril y mayo, cuando las temperaturas sobrepasan ligeramente las zonas de confort. La temperatura máxima más elevada se presenta en el mes de abril con 26.6°C , siendo el límite de confort para este mes de 25.7°C , es decir que la temperatura llega a sobrepasar la zona de confort por menos de un grado centígrado (fig. 9)

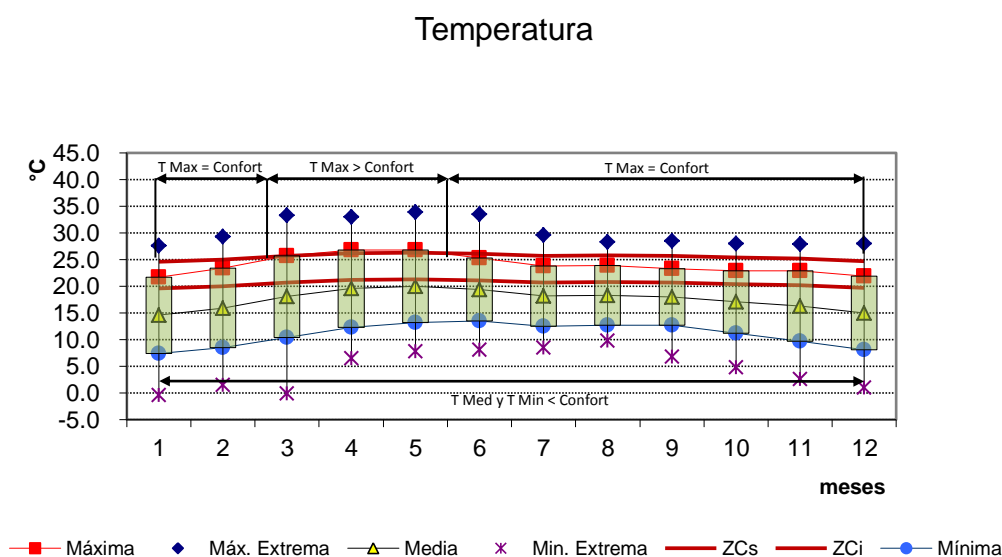


Fig. 9. Gráfica que muestra la temperatura de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya.

3.3.2 Humedad

Durante todo el año la humedad máxima se encuentra por arriba de la zona de confort, con un rango entre 70 % y 99 %, este último correspondiente al mes de septiembre. Con excepción de los meses de febrero, marzo y abril en donde la humedad relativa máxima está dentro de la zona de confort. La humedad relativa media se encuentra dentro del rango de confort durante todo el año, el mes de septiembre se encuentra en el límite de la zona de confort con 70 %.

La humedad relativa mínima se encuentran dentro del rango de confort, con porcentajes que van del 32 al 50 %, muy próximo a los límites inferiores de la zona de confort, únicamente en los meses de febrero, marzo y abril, se presenta humedades relativas bajas, esto por las tardes ya que no alcanzan el 30 %. (fig. 10)

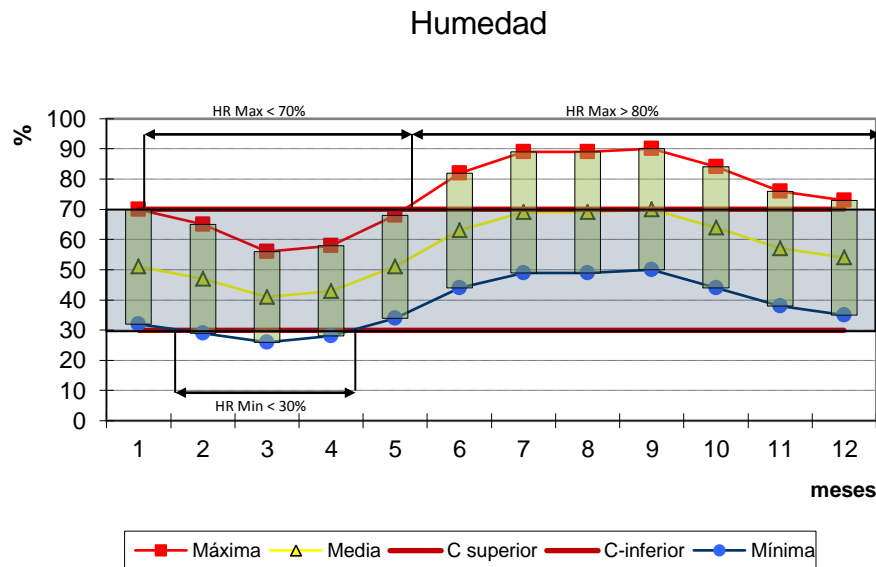


Fig. 10. Gráfica que muestra la temperatura de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya.

3.3.3 Radiación

La radiación total alta se presenta de mediados de enero hasta principios de mayo sobrepasando los 700 w/m^2 , esto representa aproximadamente el 70 % o más de la radiación teórica total máxima posible que podría incidir sobre el plano horizontal en la latitud de la ciudad de México para cada uno de los meses del año. De la misma manera la radiación solar directa es alta desde mediados de enero hasta principios de mayo sobrepasando los 500 W/m . Es evidente como la radiación descende durante los meses de precipitación (junio a agosto), debido principalmente a la nubosidad. La radiación descende en la época invernal debido a la declinación solar. (fig. 11)

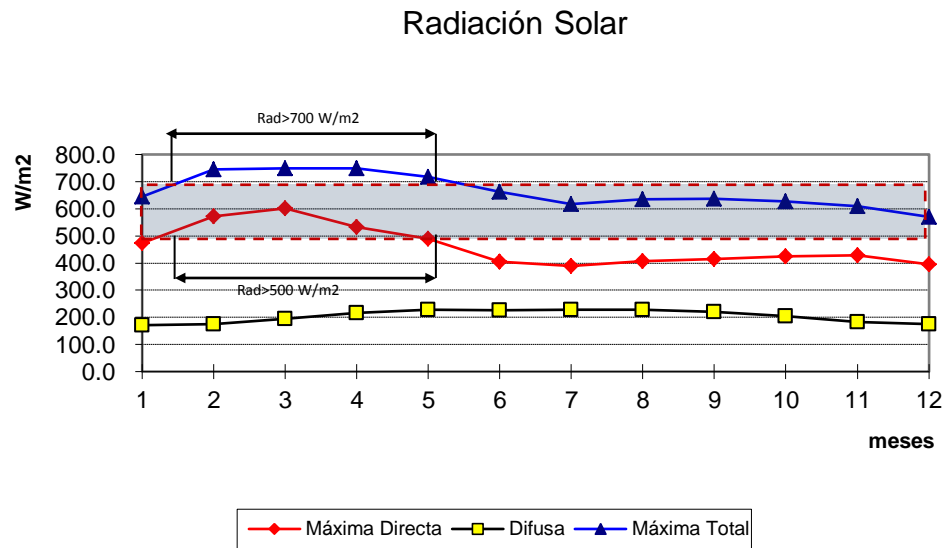


Fig. 11. Gráfica que muestra la radiación solar de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.4 Nubosidad

Los meses con mayor predominancia de días despejados son de enero a finales de marzo mientras que la época de nublados o cerrados se manifiesta entre junio y finales de octubre, se presentan también dos épocas de transición o medios nublados, la primera entre abril siendo el punto de inflexión a principios de mayo; la segunda de medios nublados, se presenta en noviembre y diciembre, la máxima nubosidad coincide con el mes de mayores lluvias. Se observa una ligera disminución de nublados en agosto, la cual vuelve a incrementarse en septiembre. (fig. 12)

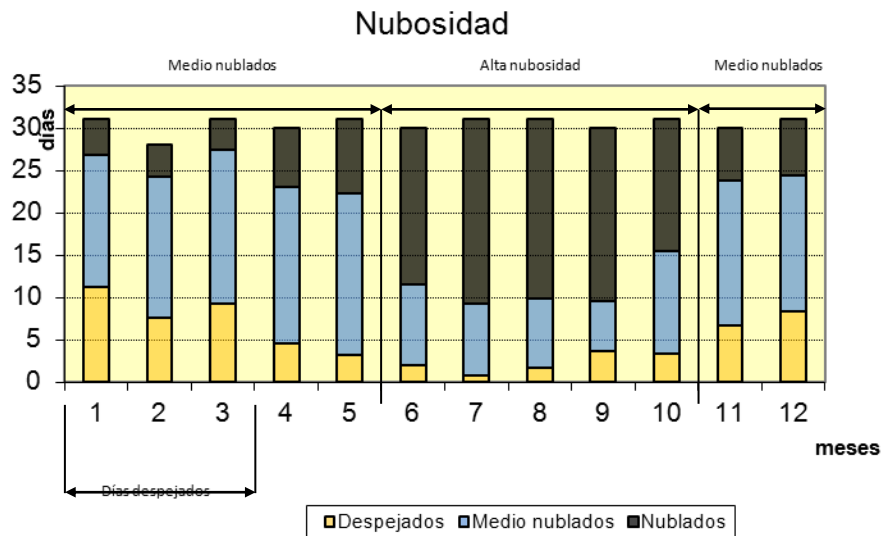


Fig. 12. Gráfica que muestra la nubosidad solar de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.5 Días grado

En la gráfica de días grado, podemos determinar cuando son necesarios los requerimientos de calentamiento y enfriamiento a lo largo del año. Se observa que la mayor parte del año tiene requerimientos de calentamiento con excepción en los meses de abril y mayo donde no hay requerimientos de calentamiento, por el contrario, se necesita enfriamiento, el resto del año si se requiere de calentamiento (fig. 13)

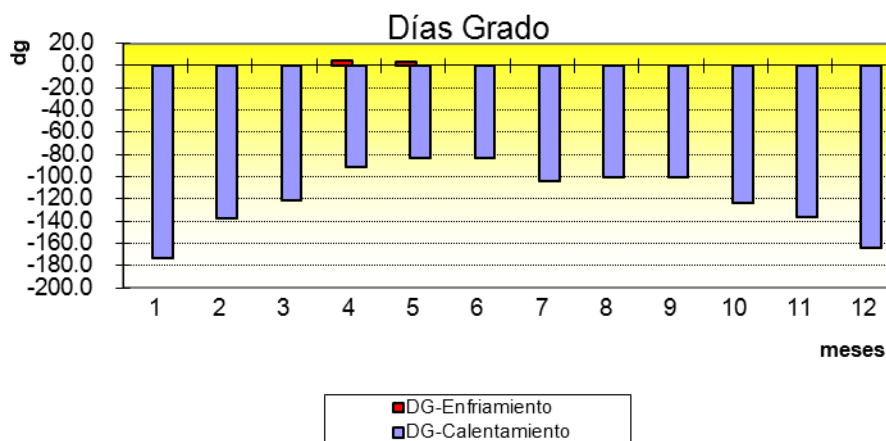


Fig. 13. Gráfica que muestra los días grado de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.6 Precipitación y Evaporación

Como se observa en la grafica se presentan tres épocas con respecto a la precipitación. La época con la precipitación más baja comienza a mediados del mes de octubre y se extiende hasta la mitad del mes de abril, a partir de este punto comienza una época de precipitación media que van desde los 50 hasta los 150 mm y esto ocurre hasta los primeros días del mes de junio. La época de precipitación alta comienza a principios de junio y se extiende hasta finales de agosto, en donde nuevamente se presenta una precipitación media.

Comparando los valores de la precipitación con los de la evaporación, es evidente que la primera es mayor a la segunda desde principios de junio hasta principios de septiembre, presentando la precipitación valores mayores a los 150 mm. En el resto del año la evaporación es mayor por lo que se presenta un déficit de humedad. En los meses de marzo, abril, mayo y junio la evaporación es alta ya que sobrepasan los 150 mm, por tal motivo estos meses se consideran los más secos del año (fig. 14)

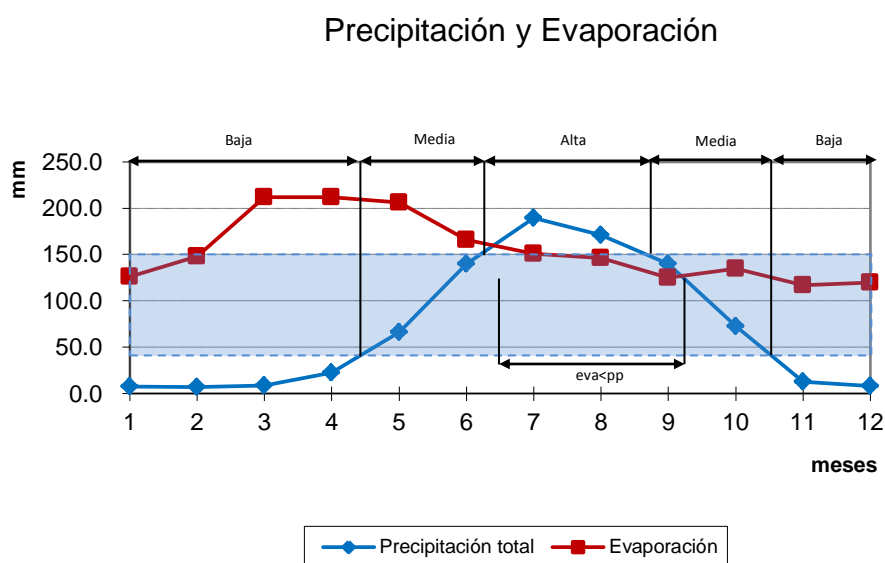


Fig. 14. Gráfica que muestra la precipitación y evaporación de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.7 Índice Ombrotérmico.

Podemos observar en la gráfica que la mayor parte del año existe un déficit de precipitación que va desde finales de octubre hasta mediados de mayo, esta época se clasifica como seca debido a los escasos de precipitación. La época húmeda del año se presenta entre mediados de mayo y finales de octubre, estos meses presentan el mayor porcentaje de precipitación, lo que los vuelve húmedos. (fig. 15)

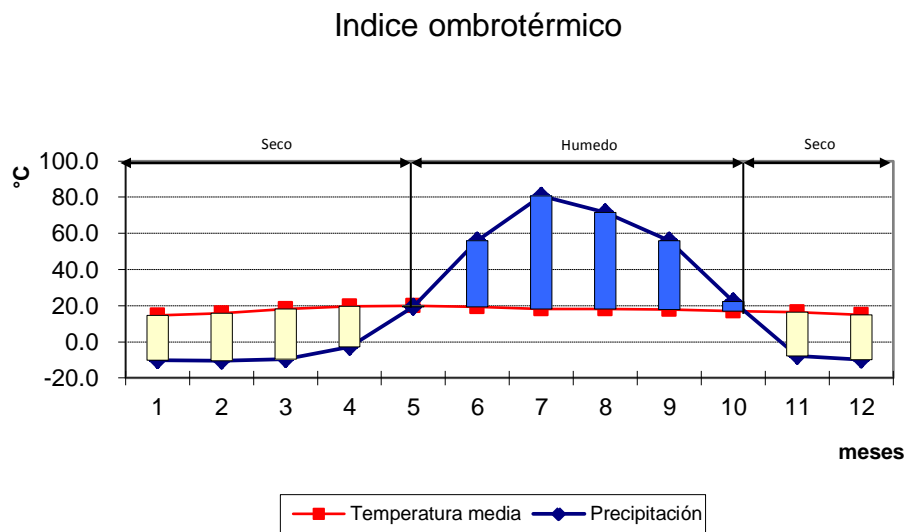


Fig. 15. Gráfica que muestra el índice ombrotérmico de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.8 Viento.

En general las velocidades medias del viento son bajas prácticamente todo el año ya que se encuentran por debajo de 1.5 m/s. Sin embargo las velocidades máximas sobrepasan el rango de 1.5 m/s en los meses de enero a marzo, en la gráfica se puede observar que los vientos más fuertes se dan en los meses de febrero, marzo y diciembre, que son meses con direcciones de viento muy variables (fig. 16)

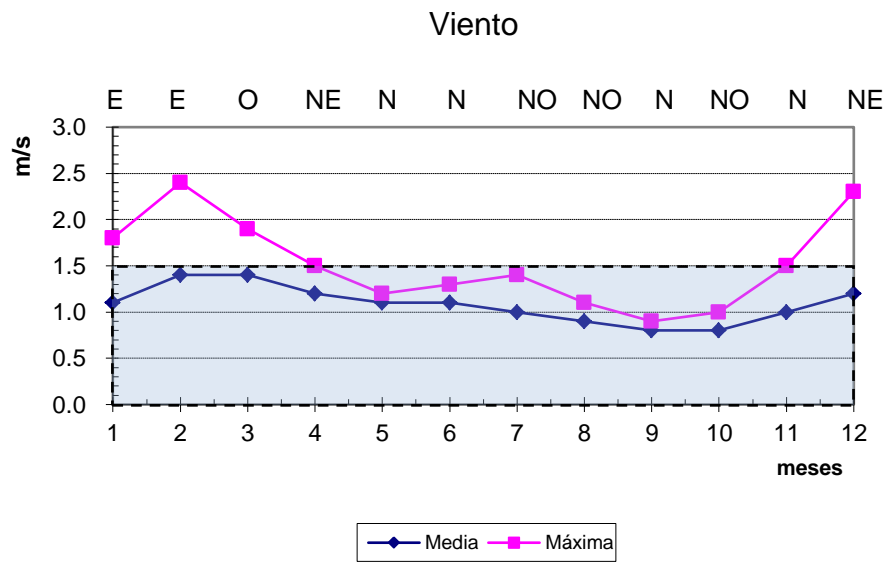


Fig. 16. Gráfica que muestra el índice de viento de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

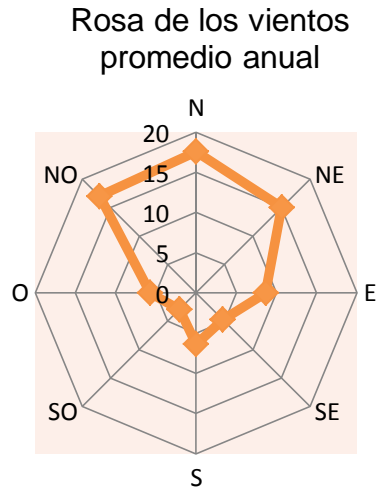


Fig. 17. Gráfica que muestra la rosa de los vientos en la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.9 Triángulo de Confort de Evans

De acuerdo al triángulo de confort, en el mes de enero la condiciones de temperatura y oscilación están totalmente fuera de confort; en los meses de noviembre, diciembre y febrero, se encuentran dentro del confort de exteriores; y de marzo a octubre, las condiciones son adecuadas para las circulaciones interiores. En ningún momento, la ciudad de México presenta condiciones adecuadas para actividades sedentarias o nocturnas.

De acuerdo a las condiciones derivadas de las altas oscilaciones diarias, las estrategias básicas recomendadas son la inercia térmica y ganancias solares en los meses más fríos; en los meses de abril, mayo y junio, las ganancias solares no son requeridas, siendo la estrategia básica solo la inercia térmica (fig. 18). La estrategia básica, así mismo para Julio y Agosto, son las ganancias internas.

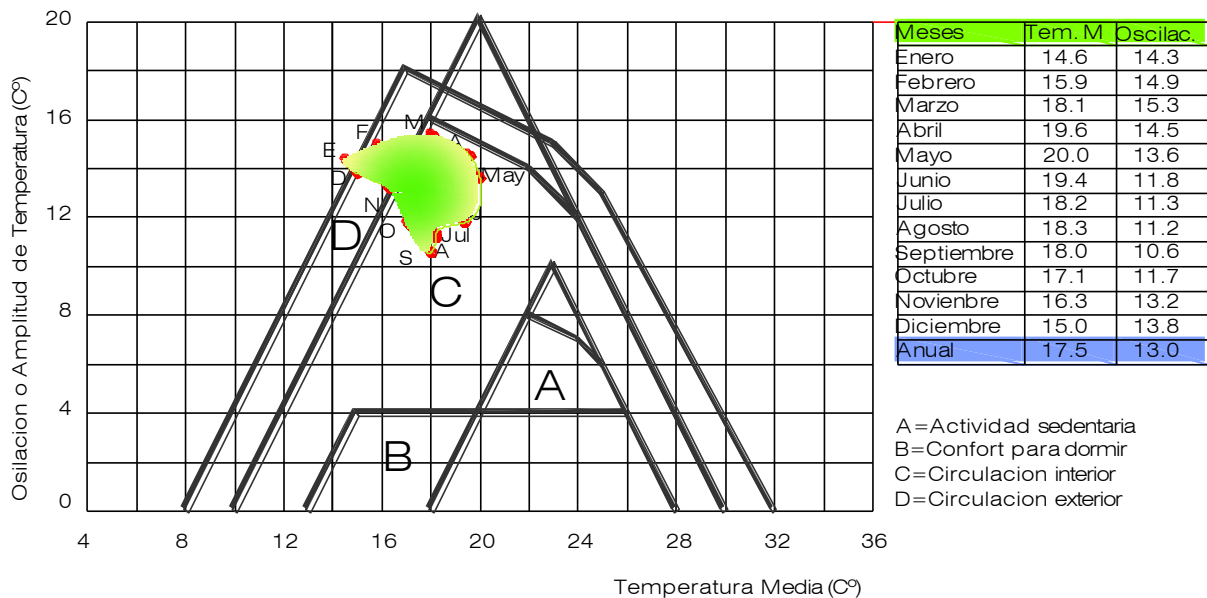


Fig. 18. Gráfica que muestra el Triángulo de Confort de Evans y su análisis en la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

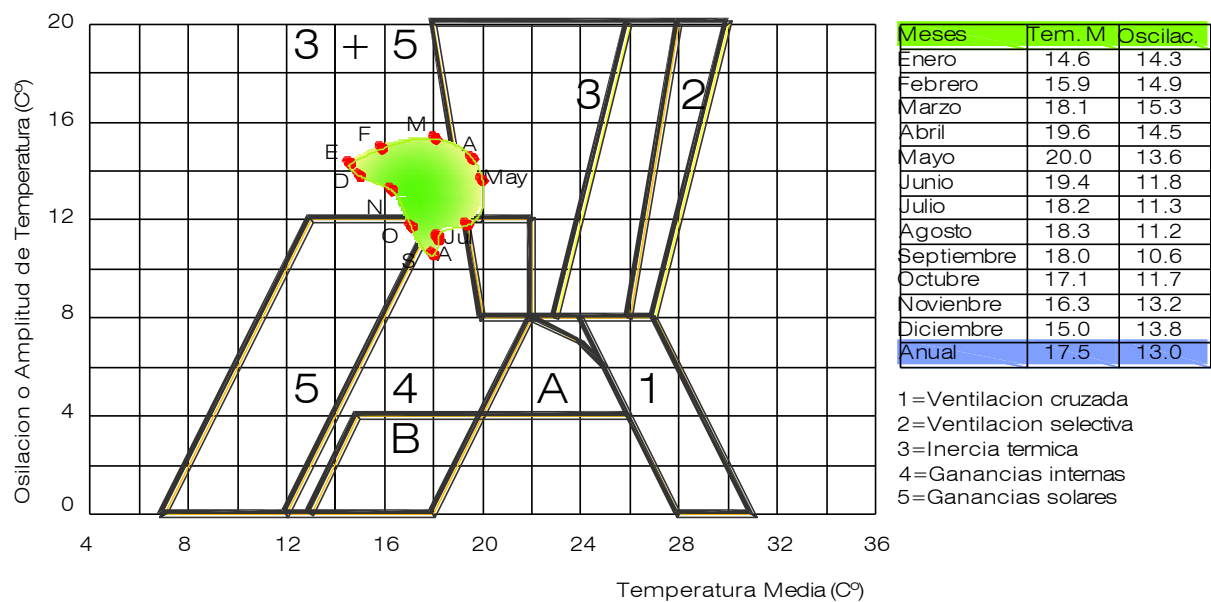


Fig. 18. Gráfica que muestra Triángulo de Confort de Evans y su análisis en la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.10 Carta bioclimática

El análisis de la carta bioclimática define cinco estrategias: confort, calentamiento, ventilación, humidificación y sombreado.

Las estrategias de diseño básicas para la ciudad de México es el calentamiento, ya que sus requerimientos de calentamiento están por arriba del 75 % del tiempo, y con requerimientos de radiación de hasta 360 W/m^2 en enero, y un requerimiento mínimo en el mes de agosto con 140 W/m^2

Las tardes de la mayor parte de los meses del año, se encuentran en confort, con la excepción de los meses de abril y mayo donde las temperaturas se elevan y llegan hasta el límite de la zona de confort, durante las mañanas se presentan requerimientos de radiación solar, ya que estas son frías al igual que las noches. El mes con mayores requerimientos de calentamiento es enero donde necesitamos hasta 360 W/m^2

Los meses de mayor temperatura, van de marzo a mayo, presentando solo unas cuantas horas durante la mañana y tarde dentro de confort. En las primeras horas del día, los requerimientos

pueden ser solucionados con radiación, sin embargo durante las noches las estrategias pasivas no son suficientes, teniendo que implementar climatización artificial para poder solucionar los requerimientos de calentamiento.

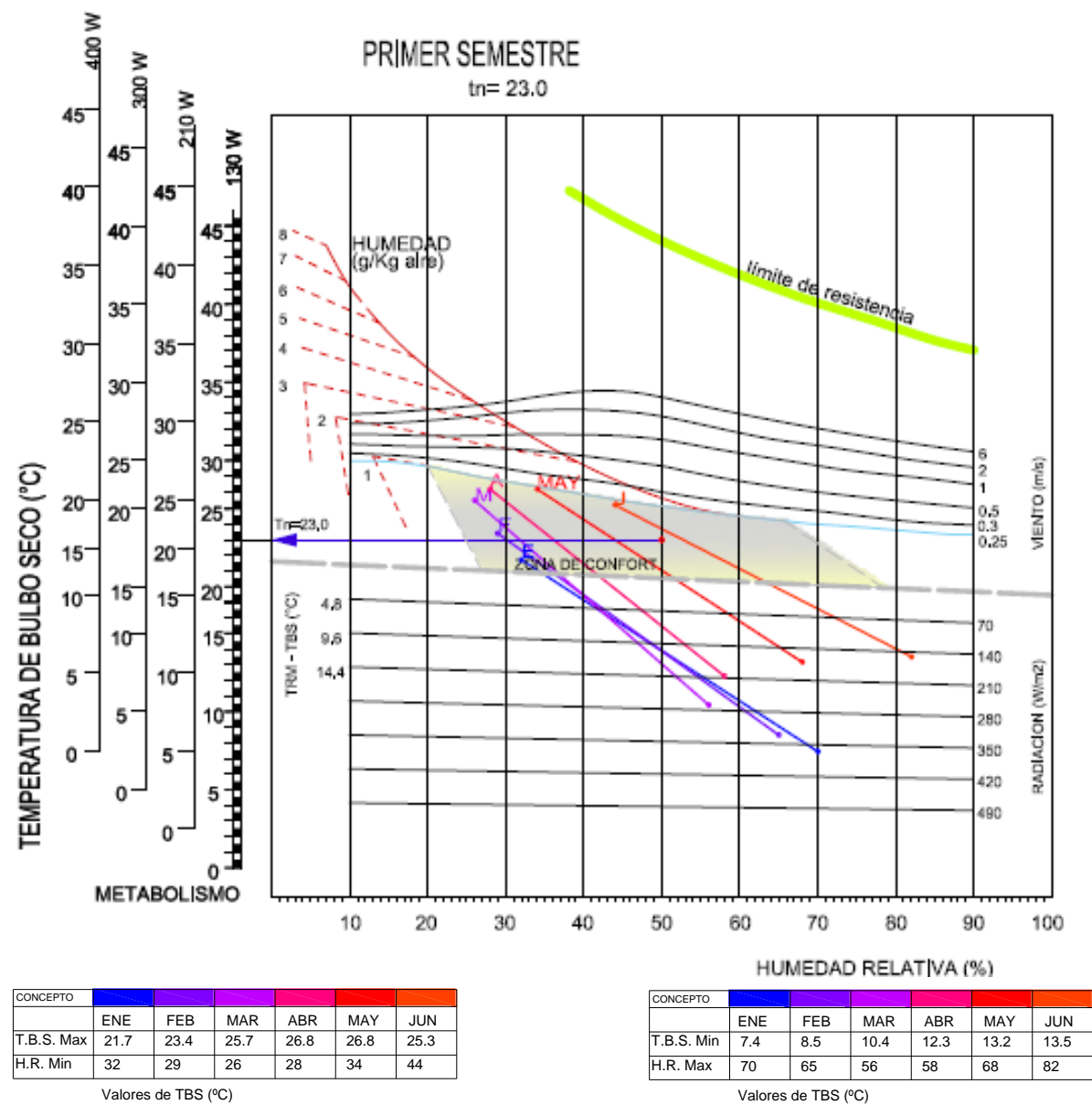
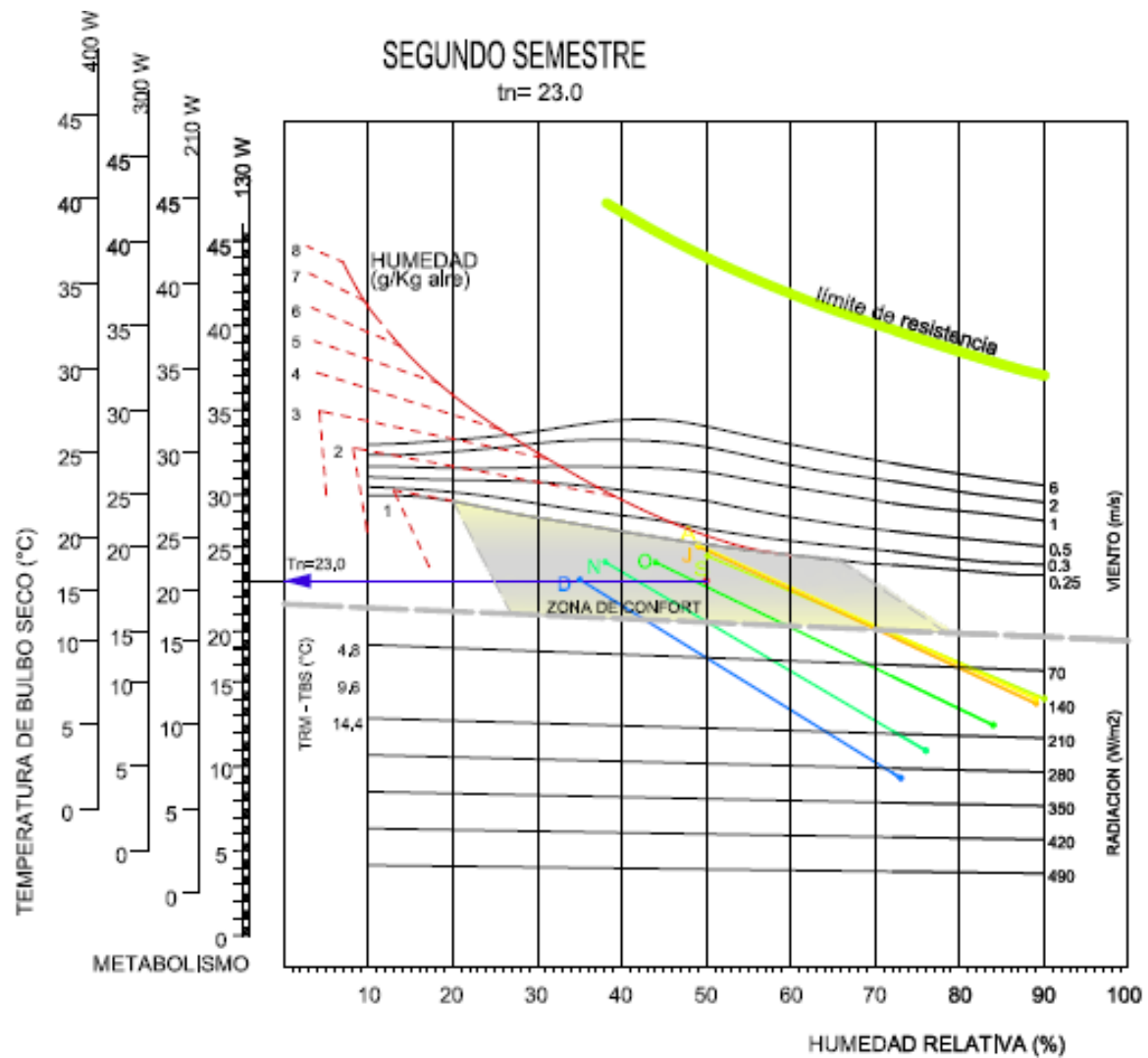


Fig. 19. Gráfica que muestra el diagrama bioclimático en la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya



| CONCEPTO | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------------|------|------|------|------|-----|-----|-------|
| T.B.S. Min | 12.5 | 12.7 | 12.7 | 11.2 | 9.7 | 8.1 | 11.0 |
| H.R. Max | 89 | 89 | 90 | 84 | 76 | 73 | 75 |

Valores de TBS (°C)

Fig. 20. Gráfica que muestra el diagrama bioclimático en la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.11 Diagrama Psicrométrico

De acuerdo con el diagrama Psicrométrico vemos que coincide con la carta bioclimática, es decir se requiere de hasta un 75 % de calentamiento. Las temperaturas mínimas del mes de enero y febrero se encuentran por debajo de la zona de calentamiento pasivo, por lo que en estos meses se requiere de calefacción activa o convencional. Con excepción de estos meses las estrategias básicas para el clima de la ciudad de México son el calentamiento solar pasivo y la masa térmica de invierno. (fig. 21)

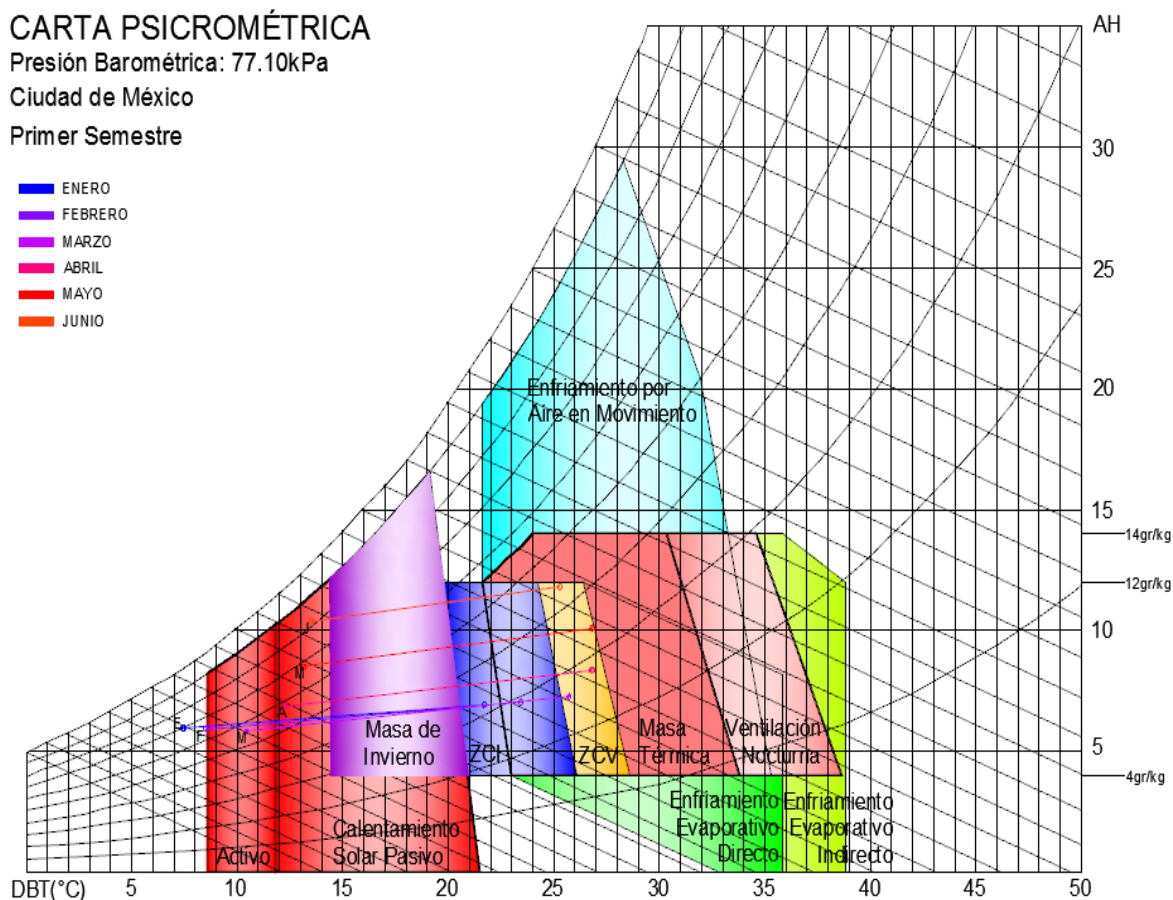


Fig. 21. Gráfica que muestra el diagrama psicrométrico en la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

CARTA PSICROMÉTRICA

Presión Barométrica: 77.10kPa

Ciudad de México

Segundo Semestre

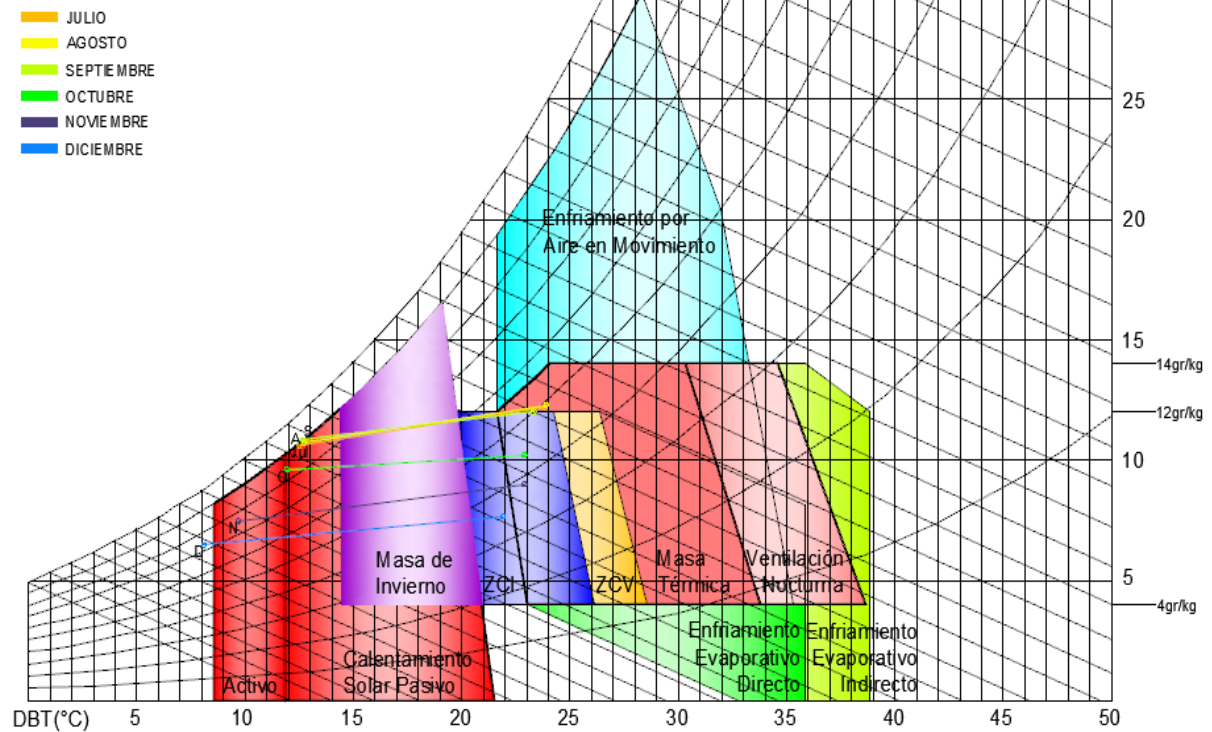


Fig. 22. Gráfica que muestra el diagrama psicrométrico en la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.12 Temperatura Efectiva

Considerando la temperatura máxima de cada mes y la velocidad media del viento, se encuentra que el efecto entre la temperatura, la humedad y el viento, da como resultado las siguientes temperaturas. Dado que la zona de confort está comprendida entre los 20.54 °C y los 25.54 °C la temperatura efectiva corregida esta fuera de confort todos los meses del año (fig. 23)

Tabla. 7. Muestra los datos de la temperatura efectiva corregida

| CONCEPTO | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| MESES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| T.B.S. | 21.7 | 23.4 | 25.7 | 26.8 | 26.8 | 25.3 | 23.8 | 23.9 | 23.3 | 22.9 | 22.9 | 21.9 | 24.0 |
| T.B.H. | 8.0 | 8.5 | 9.4 | 10.6 | 11.9 | 13.0 | 12.8 | 13.0 | 12.8 | 11.5 | 9.9 | 8.7 | 10.8 |
| Vel. Med. V | 1.1 | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.1 |
| T.E.C. | 16.0 | 16.9 | 18.4 | 19.4 | 19.8 | 19.3 | 18.4 | 18.6 | 18.2 | 17.7 | 17.1 | 16.2 | 18 |

Valores de TBS, TBH, TEC Y Vel.Med. Viento

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

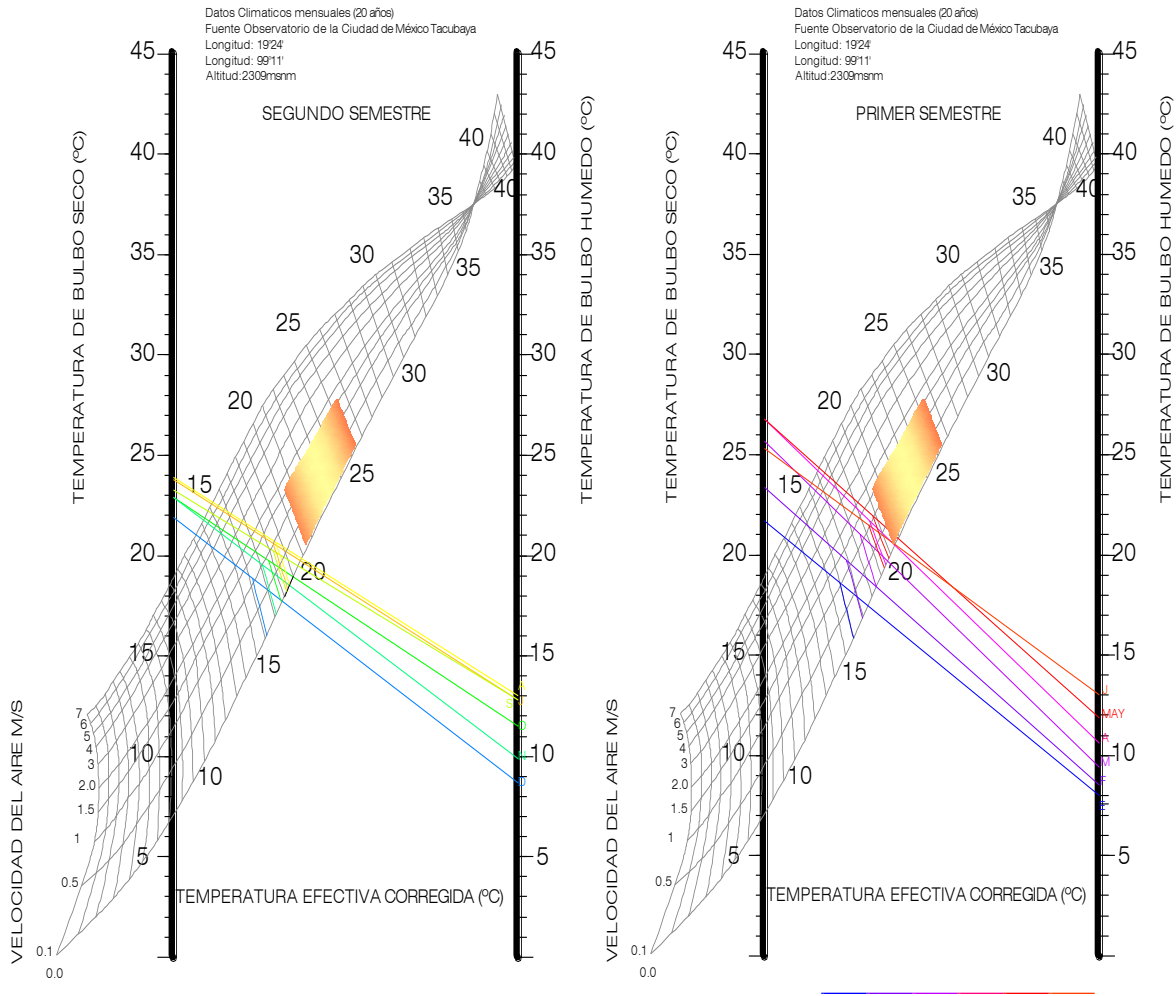


Fig. 23. Gráfica que muestra la temperatura efectiva corregida. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.13 Temperatura horaria

De acuerdo con el análisis de las temperaturas horarias, se tienen condiciones de confort el 29.86% del tiempo. En la época calurosa que va de marzo a mayo el confort está comprendido entre las 12 y las 20 horas, sin embargo se presentan temperaturas por arriba de confort entre las 14 y las 17 horas, las cuales representan solo el 2.78 % del tiempo. Mientras que en diciembre solo se presentan 4 horas de confort y en enero 5 horas (entre las 14 y 18 horas) las temperaturas que están por debajo del confort representan el 67.36 % del tiempo.

En general todas las actividades que son nocturnas se realizan con temperaturas bajas, al igual que en las mañanas y hasta las 12 horas del día, mientras que las tardes son generalmente confortables con excepción de marzo, abril y mayo. En el caso más crítico (abril y mayo) el calentamiento excede la zona de confort en 1.26 °C. Mientras que las temperaturas bajas disminuyen hasta 19.6 °C.

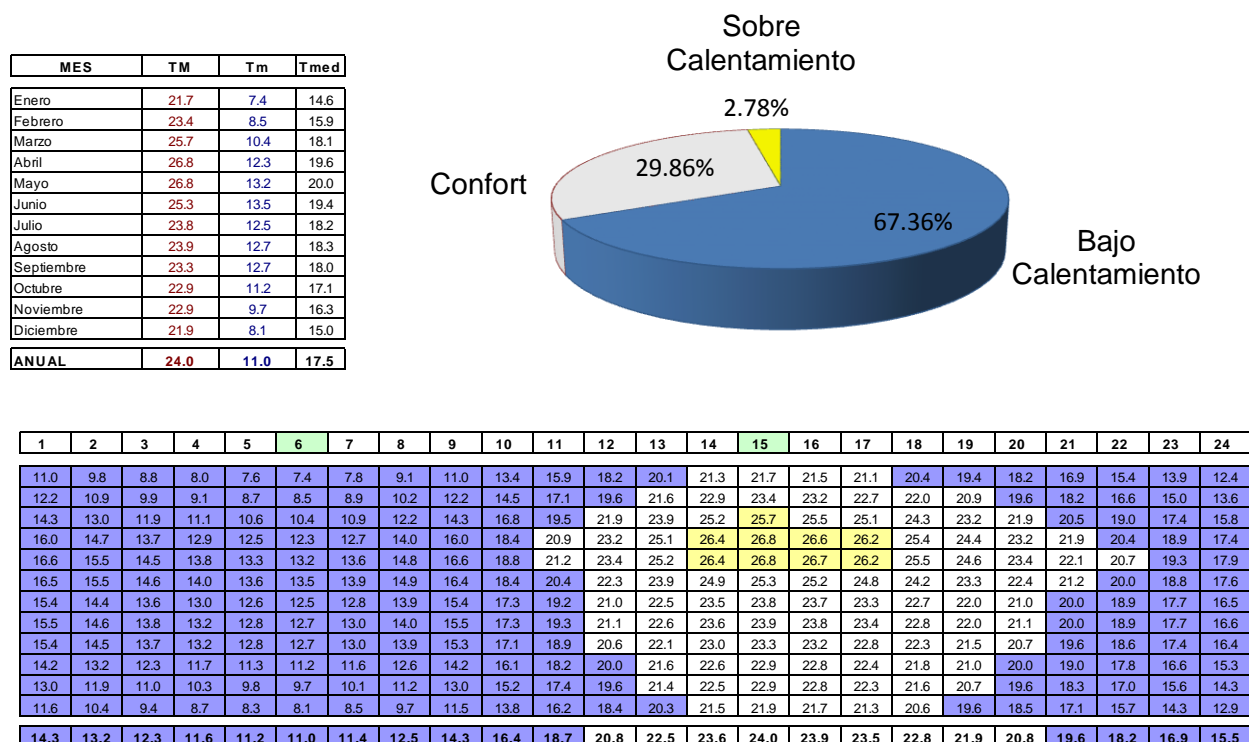


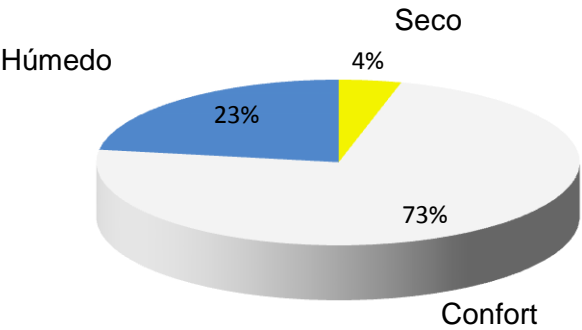
Fig. 24. Gráfica que muestra la temperatura horaria. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.14 Humedad relativa Horaria

Considerando un rango entre 30 % y 70 % de humedad como permisible, se tiene que en la ciudad de mexico, el 73 % se tienen condiciones higrotérmicas adecuadas, éstas se dan a partir de las 10 y hasta las 24 horas, exceptuando los meses entre febrero, marzo y abril, que se presentan ligeras variaciones entre las 14 y las 18 horas, las cuales representan un 4 % de condiciones higrotérmicas inadecuadas (secas).

Como es evidente, las humedades mas elevadas se presentan cuando la temperatura es menor, es decir, entre las 9 pm y las 10 am. Las humedades mas bajas se ubican en las horas de mayor calor de las 14 a las 18 horas y se dan en los meses de febrero,marzo y abril.

| MES | HRM | HRm |
|------------|-----|-----|
| Enero | 70 | 32 |
| Febrero | 65 | 29 |
| Marzo | 56 | 26 |
| Abril | 58 | 28 |
| Mayo | 68 | 34 |
| Junio | 82 | 44 |
| Julio | 89 | 49 |
| Agosto | 89 | 49 |
| Septiembre | 90 | 50 |
| Octubre | 84 | 44 |
| Noviembre | 76 | 38 |
| Diciembre | 73 | 35 |
| ANUAL | 75 | 38 |



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 60 | 64 | 66 | 68 | 70 | 70 | 69 | 66 | 61 | 54 | 48 | 42 | 36 | 33 | 32 | 32 | 34 | 36 | 38 | 41 | 45 | 49 | 53 | 57 |
| 56 | 59 | 62 | 63 | 65 | 65 | 64 | 61 | 56 | 50 | 44 | 38 | 33 | 30 | 29 | 29 | 31 | 32 | 35 | 38 | 41 | 45 | 49 | 53 |
| 48 | 51 | 53 | 55 | 56 | 56 | 55 | 52 | 49 | 44 | 38 | 34 | 30 | 27 | 26 | 26 | 27 | 29 | 31 | 33 | 36 | 39 | 43 | 46 |
| 50 | 53 | 55 | 57 | 58 | 58 | 57 | 54 | 51 | 46 | 40 | 36 | 32 | 29 | 28 | 28 | 29 | 31 | 33 | 35 | 38 | 41 | 45 | 48 |
| 59 | 62 | 65 | 67 | 68 | 68 | 67 | 64 | 60 | 54 | 48 | 43 | 38 | 35 | 34 | 34 | 35 | 37 | 40 | 42 | 46 | 49 | 53 | 56 |
| 72 | 76 | 78 | 80 | 82 | 82 | 81 | 78 | 73 | 66 | 60 | 54 | 48 | 45 | 44 | 44 | 46 | 48 | 50 | 53 | 57 | 61 | 65 | 69 |
| 79 | 82 | 85 | 87 | 89 | 89 | 88 | 84 | 79 | 72 | 66 | 59 | 54 | 50 | 49 | 49 | 51 | 53 | 56 | 59 | 63 | 67 | 71 | 75 |
| 79 | 82 | 85 | 87 | 89 | 89 | 88 | 84 | 79 | 72 | 66 | 59 | 54 | 50 | 49 | 49 | 51 | 53 | 56 | 59 | 63 | 67 | 71 | 75 |
| 80 | 83 | 86 | 88 | 90 | 90 | 89 | 85 | 80 | 73 | 67 | 60 | 55 | 51 | 50 | 50 | 52 | 54 | 57 | 60 | 64 | 68 | 72 | 76 |
| 74 | 77 | 80 | 82 | 84 | 84 | 83 | 79 | 74 | 67 | 61 | 54 | 49 | 45 | 44 | 44 | 46 | 48 | 51 | 54 | 58 | 62 | 66 | 70 |
| 66 | 70 | 72 | 74 | 76 | 76 | 75 | 72 | 67 | 60 | 54 | 48 | 42 | 39 | 38 | 38 | 40 | 42 | 44 | 47 | 51 | 55 | 59 | 63 |
| 63 | 67 | 69 | 71 | 73 | 73 | 72 | 69 | 64 | 57 | 51 | 45 | 39 | 36 | 35 | 35 | 37 | 39 | 41 | 44 | 48 | 52 | 56 | 60 |
| 66 | 69 | 71 | 73 | 75 | 75 | 74 | 71 | 66 | 60 | 53 | 47 | 42 | 39 | 38 | 39 | 40 | 42 | 44 | 47 | 51 | 55 | 59 | 62 |

Fig. 25. Grafica que muestra la humedad horaria. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.15 Tablas de Mahoney

De acuerdo a los criterios establecidos por Mahoney se observa que se presentan 3 distintos grados de humedad a lo largo del año: febrero, marzo y abril con un grado de humedad (2) medio-bajo (30-50 %), septiembre humedad (4) alta (>70 %) y el resto de los meses humedad (3) media-alta (50-70 %).

Los rangos de confort varían de acuerdo a los distintos grados de humedad conforme a la tabla. Se puede observar que durante todo el año no se presentan requerimientos de térmicos diurnos. En contra parte todo el año se presentan requerimientos térmicos nocturnos. De acuerdo a la frecuencia de cada uno de los indicadores, Mahoney da las siguientes recomendaciones de diseño:

Concepto de patio, configuración compacta, ventilación no requerida, ventanas muy pequeñas (del 10 al 20 % con respecto al muro), sombreado total y permanente, ofrecer protección contra lluvias, materiales constructivos, en muros, pisos y techumbres, masivos que ofrezcan un retardo térmico mínimo de 8 horas.

Tabla. 8. Muestra los datos de humedad y temperatura de los indicadores de Mahoney.

| PARAMETROS | U | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| TABLAS DE MAHONEY | | | | | | | | | | | | | | |
| Grupo de Humedad | | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Confort diurno | | | | | | | | | | | | | | |
| Rango superior | °C | 27 | 29 | 29 | 29 | 27 | 27 | 27 | 27 | 25 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Rango inferior | °C | 21 | 22 | 22 | 22 | 21 | 21 | 21 | 21 | 20 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Confort nocturno | | | | | | | | | | | | | | |
| Rango superior | °C | 21 | 22 | 22 | 22 | 21 | 21 | 21 | 21 | 20 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Rango inferior | °C | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| Requerimiento Térmico diurno | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Requerimiento Térmico nocturno | | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F | F |
| INDICADORES DE MAHONEY | | | | | | | | | | | | | | |
| Ventilación esencial | H1 | | | | | | | | | | | | | 0 |
| Ventilación deseable | H2 | | | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| Protección contra lluvia | H3 | | | | | | | 1 | 1 | | | | | 2 |
| Inercia Térmica | A1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 11 |
| Espacios exteriores nocturnos | A2 | | | | | | | | | | | | | 0 |
| Protección contra el frío | A3 | | | | | | | | | | | | | 0 |

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.16 Estrategias de Mahoney

Tabla. 9. Muestra los indicadores y las estrategias propuestas por Mahoney.

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|---|---|----|---|---|---|-----|---|--|
| Ciudad: | Ciudad de México | | | | | | | | | |
| INDICADORES DE MAHONEY | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | no. | Recomendaciones | |
| | 0 | 1 | 2 | 11 | 0 | 0 | | | | |
| Distribución | | | | | | | | 1 | | |
| | | | | 1 | | | | 2 | Concepto de patio compacto | |
| | | | | | | 1 | 1 | | | |
| Espaciamiento | | | | | | | | 3 | | |
| | | | | | | | | 4 | | |
| | 1 | | | | | | 1 | 5 | Configuración compacta | |
| Ventilación | | | | | | | | 6 | | |
| | | | | 1 | | | | 7 | | |
| | 1 | | | | | | | 8 | Ventilación NO requerida | |
| | | 1 | | | | | 1 | | | |
| Tamaño de las Aberturas | | | | | | 1 | | 9 | | |
| | | | | | | | | 10 | | |
| | | | | | | | | 11 | | |
| | | | | | | 1 | 1 | 12 | Muy Pequeñas 10 - 20 % | |
| | | | | 1 | | | | 13 | | |
| Posición de las Aberturas | | | | | | | | 14 | | |
| | | | | 1 | | | | 15 | | |
| | 1 | | | | | | | | | |
| Protección de las Aberturas | | | | | | 1 | 1 | 16 | Sombreado total y permanente | |
| | | | 1 | | | | 1 | 17 | Protección contra la lluvia | |
| Muros y Pisos | | | | | | | | 18 | | |
| | | | | 1 | | | 1 | 19 | Masivos -Arriba de 8 h de retardo térmico | |
| Techumbre | | | | | | | | 20 | | |
| | | | | 1 | | | | 21 | | |
| | 1 | | | | | | 1 | 22 | Masivos -Arriba de 8 h de retardo térmico | |
| Espacios nocturnos exteriores | | | | | | | | 23 | | |
| | | | | | | | | 24 | | |

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

3.3.17 Definición de estrategias básicas de diseño bioclimático

La principal estrategia de diseño para la Ciudad de México es sin lugar a dudas el calentamiento, el cual deberá propiciarse tanto de manera directa como indirecta, por lo tanto será necesario aprovechar al máximo las ganancias solares directas como indirectas, (excepto en marzo y abril). Esto se puede obtener fácilmente orientando las superficies acristaladas hacia el Este, Sureste y Sur, previendo algún sistema de control solar para primavera. Así mismo las ganancias internas deben aprovecharse para el calentamiento interno.

Para evitar las pérdidas convectivas es necesario un buen diseño de ventanas y puertas las cuales deberán brindar un buen sellado principalmente por las noches.

Prácticamente durante todas las noches de junio a diciembre la humedad relativa es elevada, por lo que se deberá restringir el uso de vegetación en los espacios interiores de uso nocturno. En contraposición el uso de vegetación en los espacios de uso vespertino resulta favorable, ya que alrededor de las 14 horas de la primavera la humedad es baja.

Durante los meses de febrero, marzo y abril se presenta un ligero sobrecalentamiento, por lo que es necesaria la ventilación natural de manera selectiva de forma que pueda ser controlada para el resto del año.

Por la amplitud de la oscilación térmica (13 °C en promedio) el uso de estructuras masivas (mamposterías) estabiliza la temperatura interior y minimiza los consumos energéticos. En contraposición, las envolventes ligeras (cristal) tienen cargas significativas de enfriamiento durante el día y calefacción durante la noche. Estos fenómenos se agudizan de marzo a abril y de diciembre a enero respectivamente. Por la oscilación térmica el empleo de cristales dobles es muy rentable.

Las tardes de todo el año (excepto febrero, marzo y abril) son muy confortables. Por otra parte, la exposición de superficies acristaladas al poniente produce sobrecalentamiento en los espacios interiores e incrementa innecesariamente el consumo energético en climatización.

Durante las tardes de abril y mayo las temperaturas sobrepasan los límites de confort al exterior (>25.54 °C), simultáneamente la humedad relativa desciende a menos del 30 %. En estas

condiciones los sistemas de enfriamiento evaporativo tanto pasivos como mecánicos son muy eficientes.

CAPITULO IV

LA ENERGÍA SOLAR UNA FORMA EFICIENTE
DE CLIMATIZAR ESPACIOS

CAPÍTULO IV

4. LA ENERGÍA SOLAR UNA FORMA EFICIENTE DE CLIMATIZAR ESPACIOS

4.1 ¿QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR?

“La energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión. Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres”. (Alija, 2008, párr. 1). En otras palabras podemos decir que la energía solar es la proporcionada por el sol a través de sus radiaciones y se difunde directamente o de modo difuso en la atmósfera, siendo ésta la responsable de varios procesos en la tierra, tales como el ciclo del agua o la fotosíntesis en las plantas entre muchos otros.

La energía solar es una de las llamadas energías renovables, particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde (Energía verde es un término que describe la energía generada a partir de fuentes primarias respetuosas del medio ambiente). Esto es, las energías verdes son renovables y no contaminantes, es decir, cuyo modo de obtención o uso no emite subproductos que puedan incidir negativamente en el ambiente.

La energía solar es obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce o también a través de la absorción de la radiación, por ejemplo, a través de los dispositivos ópticos o de otro tipo. La intensidad de la energía solar varía en el transcurso del día debido a la rotación de la Tierra; y a lo largo del año debido a el movimiento de translación de la tierra alrededor del Sol en 365.4 días.

La energía solar, puede utilizarse mediante diversas tecnologías, para secado de productos agrícolas, refrigeración de productos perecederos, destilación de agua y calentamiento de fluidos.

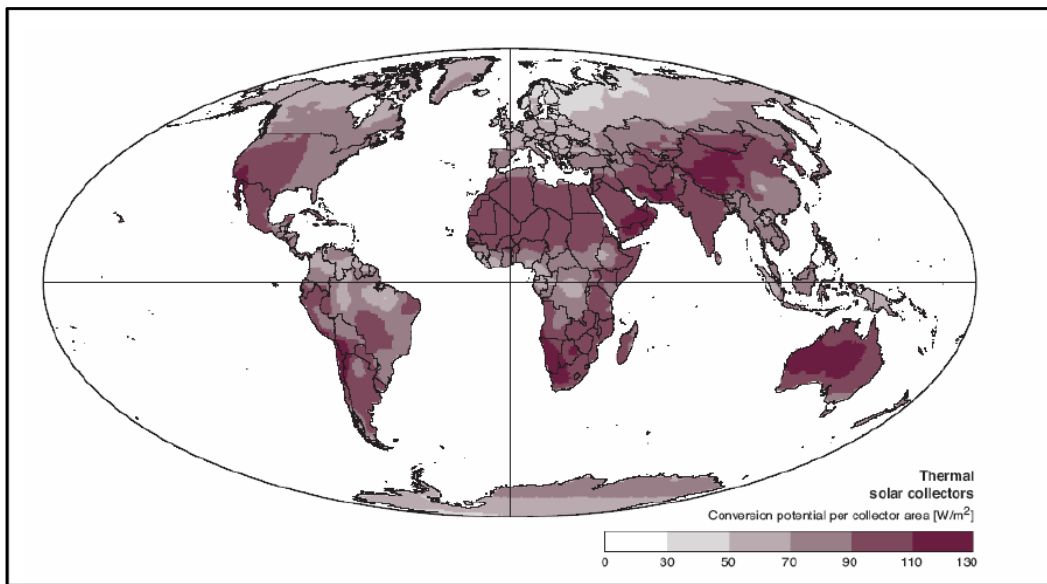


Fig. 26. Distribución global del potencial de conversión térmico solar mediante colectores solares Fuente: Graci, H (2004)

A su vez, esta energía la podemos utilizar transformándola en calor o en electricidad, esto se logra captando la radiación solar ya sea con colectores solares térmicos o con paneles fotovoltaicos.

La energía solar presenta dos características especiales muy importantes que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales: dispersión e intermitencia.

El aprovechamiento de la energía solar se puede llevar a cabo de dos formas: Según su uso estas se clasifican en sistemas pasivos o sistemas activos. La energía solar pasiva es aquella que no requiere sistemas mecánicos ni aporte externo de energía, aunque puede ser complementada por ellos. Sin embargo, el uso o aprovechamiento activo ofrece soluciones más interesantes, pues ofrece alternativas para el uso de los recursos naturales que, comparadas con otras fuentes de energía, logran beneficios económicos sin deteriorar tales recursos.

La energía solar activa consiste en el aprovechamiento energético mediante colectores térmicos a baja, media y alta temperatura. Estos sistemas activos utilizan el calor de la radiación solar transformando la energía solar en energía térmica a través de un fluido.

El aprovechamiento térmico de la energía solar se divide en tres áreas:

- Aprovechamiento de baja temperatura (menos de 90 °C): aplicado para calentamiento de agua y preparación de alimentos.
- Aprovechamiento de mediana temperatura (menos de 300 °C): para aplicaciones Industriales.
- Aprovechamiento de alta temperatura (hasta 4.000 °C): aplicado para la generación de electricidad.

La energía solar la podemos captar por medio de colectores solares, los cuales son dispositivos capaces de captar la radiación solar y transmitirla a un fluido, para su posterior aprovechamiento estos se dividen en dos grupos: Los colectores solares sin concentración no superan los 70 ° C, siendo éstos los que se utilizan comúnmente para la producción de agua caliente sanitaria; Y los colectores solares de concentración: Los cuales son capaces de elevar la temperatura del fluido a más de 70 ° C. Estos se aplican para usos industriales y para la generación de electricidad.

La otra forma de aprovechamiento de la energía solar es por medio de los paneles fotovoltaicos. Siendo éstos un conjunto de células solares conocidas como células fotovoltaicas interconectadas, comúnmente llamado panel solar. El cual es usado como componente de un sistema fotovoltaico para ofrecer electricidad limpia y renovable tanto a la industria comercial como a la residencial.

Hoy en día el uso de la energía solar se está aprovechando de una manera muy eficiente en la producción de agua caliente sanitaria y para la climatización de espacios. La energía solar térmica, también puede servir para producir electricidad, pero además tiene muchos más usos útiles.

En principio se denomina energía solar térmica a la utilización del calor de la luz del sol, la cual consiste en recoger el calor del sol por medio de los llamados colectores solares, captadores solares o paneles solares térmicos. Estos dispositivos funcionan básicamente recogiendo y concentrando el calor del sol en algún fluido, generalmente agua que recorre su interior. El calor

aumenta la temperatura del fluido el cual es almacenado o bien llevado directamente al punto de consumo.

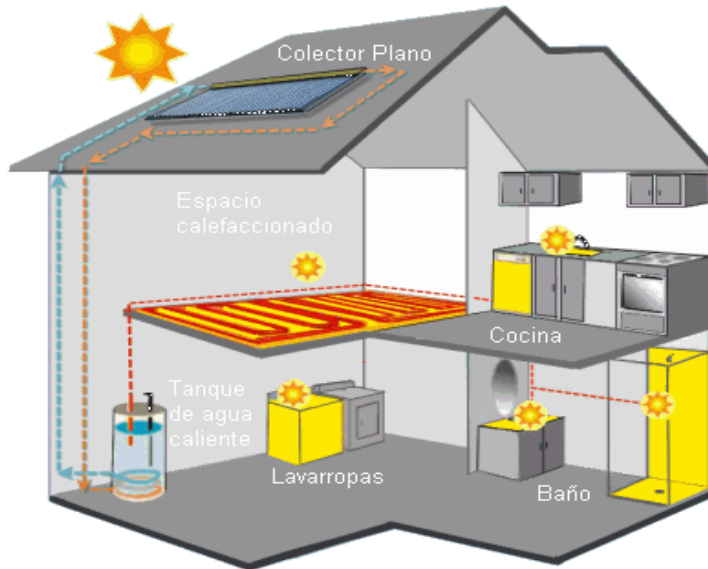


Fig. 27. Esquema de la utilización de un sistema de energía solar térmica en una casa. Fuente: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2009/08/21/calefaccion-solar/>

La energía solar térmica puede utilizarse para producir agua caliente sanitaria (ACS), para sistemas de calefacción, para sistemas de refrigeración mediante máquina de absorción y para calentamiento de piscinas. También puede utilizarse para generar electricidad, en este último caso estamos hablando de energía solar termoeléctrica. En las instalaciones solares termoeléctricas a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar se produce generalmente un vapor que tiene la potencia necesaria para mover un alternador para generar energía eléctrica. Es decir con el calor se produce energía mecánica y a partir de ella energía eléctrica.

Un uso más directo de la energía solar térmica son las cocinas u hornos solares que concentran el calor en un punto de un dispositivo generalmente con forma de parábola, donde se puede colocar una olla con agua para que hierva o en algunos casos poner directamente los alimentos para su cocción.



Fig. 28. Imagen de una cocina solar por RotaFolio. Fuente: <http://rotafolio.files.wordpress.com>

La energía solar térmica representa un uso relativamente económico de la luz dado la relativa simplicidad de los dispositivos, y su uso es muy extendido en el ámbito doméstico.

4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR

La energía es el motor que hace funcionar el mundo. Sin energía no podríamos iluminar nuestras casas ni tener calefacción, no podríamos ver la televisión ni desplazarnos en coches o autobuses cada día. Su uso forma parte de nuestro estilo de vida y es inherente al desarrollo de nuestra sociedad. Sin embargo, debemos ser conscientes de que las principales formas de energía que disfrutamos hoy en día se agotarán tarde o temprano. Las tres fuentes de energía más importantes de nuestro tiempo (petróleo, carbón y gas natural) son fruto de la acumulación de restos orgánicos en la naturaleza desde hace millones de años. El uso masivo que hoy hacemos de ellas ha provocado una drástica disminución de sus reservas en tan sólo un siglo. En consecuencia, de mantenerse el modelo de consumo actual, los combustibles tradicionales dejarán de estar disponibles a mediano plazo, bien por el agotamiento de las reservas, o porque su extracción habrá dejado de ser rentable.

La energía, como se ha llegado a decir, es la verdadera riqueza de los tiempos modernos. La energía es el resultado de un proceso caro, y por eso debemos aprender a valorarla y no

derrocharla. Por eso resulta tan importante desarrollar nuevas tecnologías basadas en el aprovechamiento de los recursos renovables que, como su propio nombre indica, son inagotables, además de respetuosas con el medio ambiente.

La energía solar tiene la ventaja de ser limpia e inagotable (la energía limpia y renovable proviene de recursos naturales que se reabastecen naturalmente. Algunos ejemplos de ella son el viento, el agua, la energía solar, la energía geotérmica, y los biocombustibles). La cual no contamina y puede aprovecharse para satisfacer las necesidades del confort humano, entendiéndolo como un estado de completo bienestar físico, mental y social. La energía solar contribuye a la reducción de las emisiones de CO₂, no produce residuos de difícil tratamiento y constituye una fuente de energía inagotable.

La energía solar es uno de los recursos renovables que nos regala la naturaleza a cada instante y una fuente de energía que no daña el entorno en que vivimos. Las principales ventajas medioambientales de la energía solar térmica son muchas; por ejemplo, la energía solar no emite gases contaminantes perjudiciales para la salud. Los contaminantes gaseosos más comunes del uso de las energías convencionales son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono. Estos compuestos químicos se producen de diferentes formas, pero la principal fuente artificial es la quema de combustible fósil, esta es otra ventaja de la energía solar ya que esta no emite gases de efecto invernadero los cuales afectan la salud y causan el cambio climático. Los gases de efecto invernadero son: Vapor de agua (H₂O), Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Ozono (O₃), Clorofluorocarbonos (CFC₃). Sabemos que estos gases los podemos encontrar de forma natural en la atmósfera (salvo los CFCs), inclusive desde antes de la aparición del hombre. Sin embargo, a partir de la Revolución industrial y debido principalmente al uso intensivo de los combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte, se han producido incrementos en las cantidades de óxidos nitrosos y de dióxido de carbono emitidas a la atmósfera, que conjuntamente con otras actividades humanas como la deforestación, han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono, siendo la principal responsable del efecto invernadero.

La energía solar contribuye eficazmente a la reducción de emisiones de CO₂, responsables del calentamiento global del planeta. Se calcula que con el uso de una instalación solar para la producción de agua caliente sanitaria para una familia se puede evitar la emisión de una tonelada de CO₂ al año. Al extrapolar estos datos a los millones de familias de todo el mundo que actualmente utilizan la energía solar térmica para producir agua caliente y calefacción, obtenemos que nuestro planeta se ahorró la emisión de más de 17 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera sólo durante el año 2004. En cambio el uso de la energía solar no produce ningún tipo de desperdicio o residuo peligroso de difícil eliminación, por lo tanto no produce efectos significativos sobre la flora y la fauna, a no ser que hagamos referencia a las instalaciones de alta temperatura, que suelen ocupar una gran extensión de terreno, pero aun así su impacto sobre el medio ambiente es mínimo, y en el caso de que se produjera algún tipo de desperdicio o residuo, esto sería exclusivamente durante la fase de fabricación de los equipos.

Una de las principales ventajas de esta energía es que no corre peligro de agotarse a mediano plazo, puesto que su fuente productora es el Sol. Además no requiere de costosos trabajos de extracción, transporte o almacenamiento.

“La energía emitida por el Sol representa la combustión o la transformación de masa en energía del orden de 4 200 000 toneladas por segundo. Suponiendo que el sol consume su hidrogeno desde hace seis billones de años, la cantidad parece enorme a primera vista, pero la pérdida de masa del sol es muy lenta, ya que, con respecto a su masa total del orden de 22×10^5 toneladas, pierde solamente un 22×10^{-10} toneladas es decir el 20 % de su masa por segundo. De este modo, se puede esperar que el sol continúe radiando energía durante varios billones de años” (Mazria, 1983, pág. 17).

Un elemento específico de la energía solar térmica, que la diferencia de otras fuentes de energías tanto convencionales como renovables, es que se genera directamente en los puntos de consumo, por lo que no requiere transporte ni creación de infraestructuras.

Además, su aplicación suele tener lugar en el entorno urbano, en el cual las emisiones contaminantes de los combustibles tradicionales tienen mayor incidencia sobre la salud humana, consiguiéndose así disminuir sensiblemente las emisiones gaseosas originadas por los sistemas convencionales de generación de agua caliente.

Una instalación solar térmica en una vivienda unifamiliar con 2 m² de colectores solares puede evitar anualmente 1.5 t de CO₂. Por otro lado una instalación fotovoltaica de 5 kW evitaría la emisión de 2.3 t de CO₂ al año.

Tanto la energía solar térmica como la fotovoltaica provienen de recursos autóctonos por lo que disminuye la dependencia energética y económica exterior. Los costos de operación y mantenimiento son muy reducidos, por tanto aunque la inversión pueda ser importante, éste es el único gasto significativo en los 25-30 años de vida media de la instalación.

La energía solar constituye una fuente de ahorro al reducir el tiempo de funcionamiento de las instalaciones convencionales de apoyo que es necesario mantener.

Por otro lado existen grandes limitantes y desventajas para el desarrollo de la energía solar y de los dispositivos solares. Debido en principio a la promoción de equipos convencionales de climatización y calentamiento de agua principalmente, ya que estos equipos son de fácil acceso para los usuarios, lo cual limita la promoción y el uso de sistemas solares que bien podrían sustituir a los convencionales como las calderas, la bomba de calor, los calentadores de agua, entre otros.

Una de las principales limitantes del uso de la energía solar es que los dispositivos que aprovechan esta energía requieren de una gran inversión inicial, causando así que un gran número de usuarios se vean imposibilitados a poder hacer uso de esta energía por medio de algún dispositivo solar. Otro factor que limita su uso es el nivel de radiación solar, ya que este fluctúa de una zona a otra y de una estación del año a otra, por lo tanto la eficiencia que pudiese tener el dispositivo de captación puede variar. Para captar energía solar a gran escala se requieren grandes

extensiones de terreno. Esto es un inconveniente más, ya que muchas veces se carece de grandes extensiones de espacio, en donde se puedan tener instalaciones adecuadas para su correcto funcionamiento.

Regularmente los lugares en donde existe mayor radiación, son lugares desérticos y alejados, donde difícilmente se puede llevar a cabo algún tipo de proyecto de generación de energía solar a escala comercial o bien alguna edificación que fuese capaz de aprovechar esta energía. En contra parte en algunos lugares la radiación solar no tiene la intensidad o no es suficientemente constante para proporcionar un flujo de energía permanente, por tal motivo, no sería prudente hacer uso de esta energía ya que sería una mala inversión

Los costos iniciales de instalación de un sistema de energía solar pueden ser altos comparados con otras alternativas. Sin embargo, como se señaló en el apartado de ventajas, no existen costos posteriores, por lo que la inversión inicial se recupera rápidamente. Para algunas familias los costos iniciales pueden ser un obstáculo importante, por lo que en muchos países existen apoyos gubernamentales y esquemas de financiamiento.

Otro inconveniente que se aplica a la mayoría de los sistemas solares pasivos, es que los usuarios tienen que operen de manera manual algunos dispositivos como el abrir y cerrar de ventanas y celosías para regular el flujo y distribuir el calor. Los propietarios de sistemas solares activos y pasivos necesitan de reglamentaciones que impidan que otros construyan estructuras que bloqueen el acceso de insolación o incidencia solar.

Otro inconveniente de la energía solar térmica por medio de los dispositivos solares y que cabe destacar, es el impacto visual sobre el paisaje por lo que es conveniente tener especial cuidado en su integración en el entorno, así como en su integración a la arquitectura.

Como podemos ver a lo largo de este texto existen muchas formas en las cuales podemos aprovechar la energía solar. Sin embargo, aún hay varios aspectos que imposibilitan su uso, pero sería poco racional no intentar aprovecharla por todos los medios técnicamente posibles. Esta

fuelle energética gratuita, limpia e inagotable, podría liberarnos de la dependencia de los combustibles fósiles o de otras alternativas poco seguras, contaminantes o, simplemente, agotables.

4.3 CALEFACCIÓN SOLAR EN LAS EDIFICACIONES

Debido a la inminente limitación de recursos energéticos a la que la humanidad se enfrentará en los próximos años, y a la creciente contaminación, las energías renovables se han situado como una eficiente alternativa para conseguir que en los hogares haya luz y calor. Calentar el agua potable de uso doméstico o acceder a la calefacción en invierno y aire acondicionado en verano a través de la energía solar, es hoy en día posible ya que existe la tecnología y la posibilidad de hacerlo.

La calefacción solar data de hace varios siglos, siendo el Sol la fuente de calor por excelencia. No sólo las construcciones inteligentes aprovechan en la actualidad la energía solar (denominados sistemas pasivos de calefacción solar) sino que se han generado artefactos de última generación tecnológica.

Generalmente las edificaciones requieren de dispositivos de climatización (su objetivo consiste en crear unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad dentro de los espacios habitados) los cuales tienen un alto consumo energético, impactando así en la economía de los usuarios.

Uno de los principales problemas de la edificación es, la falta de confort térmico causado por un mal diseño, o por el uso de materiales inadecuados en los sistemas constructivos actuales, provocando temperaturas bajas al interior de ésta. Por tal motivo los usuarios se ven en la necesidad de satisfacer esa deficiencia en el confort del espacio mediante la calefacción; una alternativa eficiente para este problema es la calefacción solar, la cual nos ayuda a satisfacer la demanda de calor de los espacios interiores. “El fundamento de la calefacción por radiación solar esta en el aprovechamiento de la energía que aporta, para conseguir calor controlado que pueda utilizarse como medio para atemperar ambientes interiores” (Causa, 1989, pág. 121).

La calefacción solar para su uso en las edificaciones tiene dos vertientes: la calefacción solar pasiva y la calefacción solar activa.

“Los elementos pasivos captan y transportan el calor mediante sistemas no mecánicos. La definición más corriente de un sistema pasivo de calefacción solar, o de refrigeración, es un sistema en el que los fluidos de energía se transportan por medios naturales, como la radiación, la conducción y la convección natural. En esencia, la construcción del edificio, total o parcialmente, es el sistema. No existen captadores independientes, equipos de almacenamiento ni elementos mecánicos. Las diferencias más claras entre ambos sistemas consiste en que los pasivos funcionan con la energía aprovechable de su entorno inmediato y los sistemas activos utilizan, además, energía elaborada, como la electricidad, para alimentar ventiladores y bombas, sin las cuales el sistema no podría trabajar” (Mazria, 1983, pág. 41).

La calefacción solar pasiva es el aprovechamiento directo de las radiaciones solares por medio de disposiciones constructivas está se basa en una serie de materiales, que responden a unas determinadas características necesarias para la captación de la energía calorífica. Por ejemplo, se pueden emplear elementos tales como amplias superficies acristaladas con las que se consigue el efecto invernadero; muros y techumbres masivos que permitan acumular la energía calorífica; o materiales que permitan el aislamiento térmico; y los llamados reflectores o inversores térmicos que actúan en invierno incrementando el efecto calorífico de la radiación, mientras que en verano actúan como protectores térmicos reflejando el calor.

La calefacción solar pasiva responde a dos sistemas de uso. Sistemas de ganancia directa y sistemas de ganancia indirecta.

Los sistemas de ganancia directa aprovechan la radiación solar para calentar un espacio interior por medio de acristalamientos y materiales que almacenen energía, los cuales pueden estar situados en la techumbre, suelo o muros.

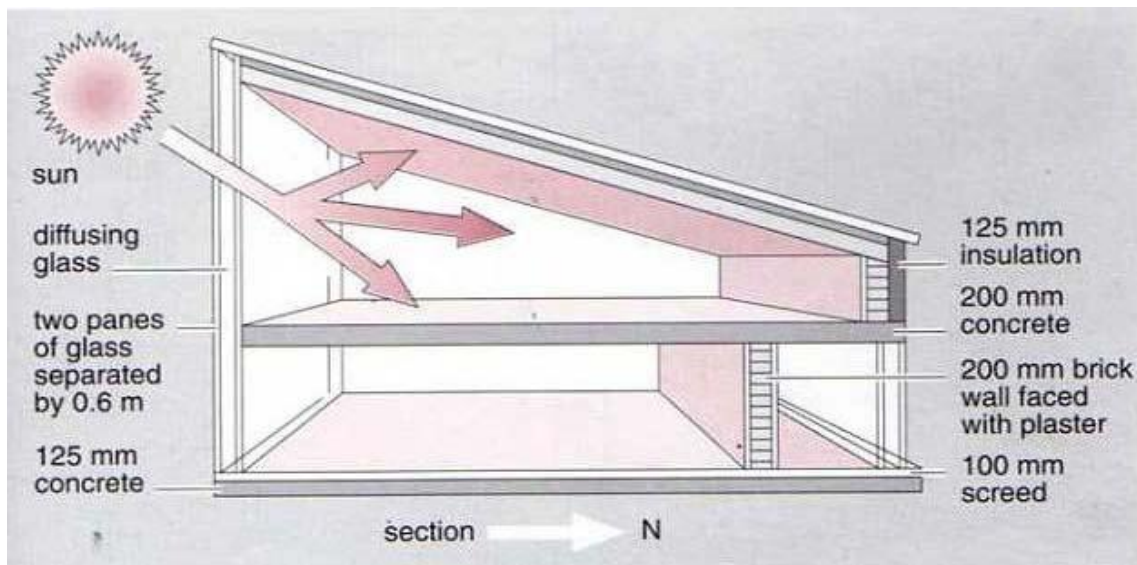


Fig. 29. Esquema de aprovechamiento con diseño pasivo de ganancia directa. Fuente <http://www.docstoc.com/docs>

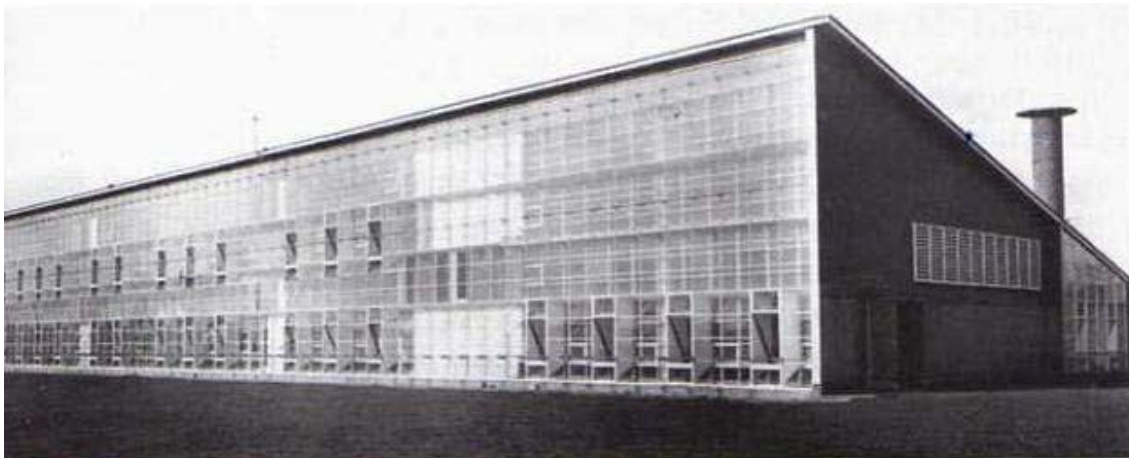


Fig. 30. Colegio Wallasey (1961 - Cheshire, UK), un ejemplo clásico de lo que es un diseño pasivo de ganancia directa. Fuente <http://www.docstoc.com/docs>

Los sistemas de ganancia indirecta se basan en aprovechar la radiación solar sobre una masa térmica situada tanto en los muros como en los techos; cuanto mayor sea la superficie de exposición o de captación, mayor será el grado de calentamiento del espacio interior, por tal razón se emplean materiales capaces de transmitir esta energía calorífica., ya sea a las techumbres o a los muros, por ejemplo. Se podría realizar un sistema en donde el calor penetre a través de un cristal y se almacene en un muro de color oscuro que irradiará posteriormente el calor por todo el edificio, durante la noche o los días nublados.

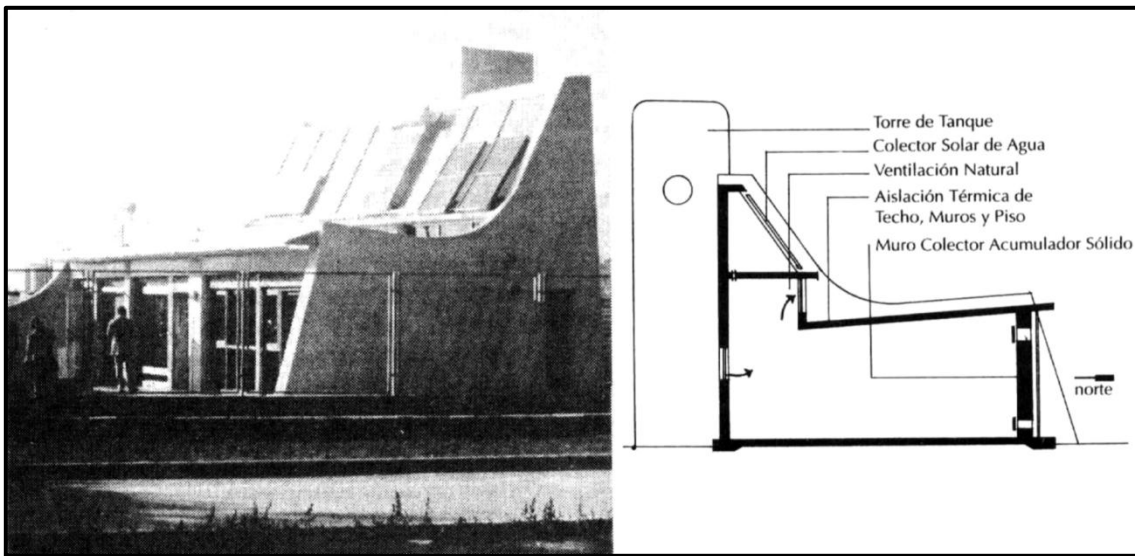


Fig. 31. Ejemplos de casas solares pasivas en Argentina. La casa solar de Mendoza. Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Muro_Trombe

En realidad, se trata de un criterio activo que genera energía a un edificio a partir de la energía solar. Los muros más característicos de este sistema, son los conocidos como muros Trombe o muros de inercia térmica, que poseen un característico sistema de funcionamiento, y calientan el aire interior de la construcción por medio de respiraderos.

La combinación de los sistemas de ganancia directa e indirecta dan como resultado los sistemas de ganancia mixta, estos sistemas son el resultado de la combinación del efecto invernadero con la masa térmica, y consisten en transferir la temperatura conseguida por el invernadero a una superficie de contacto (pared o muro) que recibe el calor.

La otra vertiente de la calefacción solar es el aprovechamiento activo de la energía solar. “La calefacción de locales con almacenamiento a largo o a corto plazo, en la que los colectores solares y el acumulador de calor constituyen elementos constructivos claramente diferenciados, es una calefacción solar activa” (Sabady, 1986, pág. 114).

Estos sistemas activos térmicos o sistemas de conversión térmica utilizan el calor de la radiación solar transformando la energía solar en energía térmica a través de un fluido. La conversión térmica depende de la temperatura a la que calentamos el fluido: a baja, media y alta temperatura.

Los colectores o paneles solares planos se emplean como receptores de energía que permiten calentar el agua para uso sanitario. Para estas instalaciones se necesita disponer de un colector o captador de energía solar, un sistema de almacenamiento y otro de distribución.

“En general, los sistemas activos emplean sistemas auxiliares mecánicos para captar y transportar el calor. Estos sistemas, en general, emplean como elementos fundamentales: captadores planos o de concentración (normalmente situados sobre la cubierta del edificio y un equipo independiente de almacenamiento de calor (lecho de grava, depósito de agua o la combinación de ambos). El agua o el aire, bombeado a través del captador, absorben calor y lo transportan al depósito térmico. Después, mediante un sistema mecánico de distribución, este calor se extrae del almacenamiento y se distribuye solo por distintos espacios del edificio” (Mazria, 1983, pág. 41).

El calor necesario para el acondicionamiento de edificios se puede suministrar mediante técnicas de energía solar con sistemas que, conceptualmente, no son más que versiones mayores de los utilizados en el calentamiento de agua. Los fluidos más utilizados para la transferencia de calor en sistemas de calefacción son, el agua y el aire.

“El sistema calefactor de un equipo solar se basa en la cesión de calor que hacen los tubos conductores del agua caliente, al ponerse en contacto con el aire del local que atraviesan, se procede entonces un trasvase de calor, ya que las dos diferentes -la ambiental y la del circuito secundario- tienden a igualarse” (Causa, 1989, pág. 125).

En los climas templados, se tiene que disponer de una fuente energética auxiliar convencional y el problema de diseño se reduce a decidir la combinación óptima entre la energía solar y la energía auxiliar.

Los componentes principales de los sistemas solares de calefacción activa son:

- a) El colector solar, que transforma la radiación solar en calor.
- b) El sistema de almacenamiento, que guarda el calor almacenándolo.

c) Circuito distribuidor, que lleva el calor del sistema de almacenamiento a las habitaciones donde lo cede.

“Hay tres problemas principales de la calefacción solar: captación del calor, almacenamiento del calor y transporte del calor. Los medios más importantes para estas tres funciones son el agua, el aire y la piedra; también intervienen el aceite y diversos hidratos salinos” (Sabady, 1986, pág. 115).

Para estos sistemas resulta útil considerar cuatro modos operativos básicos de funcionamiento, según sean las condiciones existentes en un momento determinado:

- a) Si hay energía solar disponible y no hace falta calor en el edificio, la ganancia energética procedente del colector se añade al sistema de almacenamiento.
- b) Si hay energía solar disponible y hace calor en el edificio, la ganancia energética se utiliza para cubrir otras necesidades del edificio.
- c) Si no hay energía solar disponible, y hace falta aplicar calor en el edificio y la unidad de almacenamiento tiene cierta cantidad de energía almacenada, se utiliza dicha energía almacenada para cubrir las necesidades del edificio.
- d) Si no hay energía solar disponible, y hace falta calor en el edificio, y la unidad de almacenamiento se ha agotado, entonces hay que utilizar la energía auxiliar convencional para cubrir las necesidades del edificio.

Todos los sistemas de calefacción solar se basan en el almacenamiento de energía solar en un material para un periodo de tiempo. “La capacidad de un material de almacenar energía térmica se llama “calor específico”; que se define como la cantidad de calor (medida en Kcal) que un kilogramo de una sustancia puede adquirir cuando su temperatura aumenta en un grado centígrado” (Mazria, 1983, pág. 37). Sin embargo, para que un material pueda servir de manera eficiente como contenedor de calor, este debe de tener tanto una buena capacidad térmica como una buena conductividad térmica. En la tabla 10 se muestran el calor específico y la capacidad térmica de algunos materiales usados en la construcción.

Tabla 10. Valores de calor específico, densidad y capacidad térmica de algunos materiales.

| PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN | | | |
|--|----------------------|------------------|-----------------------|
| Material | Densidad | Calor específico | Conductividad térmica |
| | (kg/m ³) | (J/(kg·K)) | (W/(m·K)) |
| Acero | 7850 | 460 | 47-58 |
| Agua | 1000 | 4186 | 0,58 |
| Aire | 1,2 | 1000 | 0,026 |
| Aluminio | 2700 | 909 | 209-232 |
| Asfalto | 2120 | 1700 | 0,74-0,76 |
| Baldosas cerámicas | 1750 | - | 0,81 |
| Baquelita | 1270 | 900 | 0,233 |
| Bloques cerámicos | 730 | - | 0,37 |
| Bronce | 8000 | 360 | 116-186 |
| Cartón | - | - | 0,14-0,35 |
| Cemento (duro) | - | - | 1,047 |
| Cinc | 7140 | 389 | 106-140 |
| Cobre | 8900 | 389 | 372-385 |
| Corcho (expandido) | 120 | - | 0,036 |
| Espuma de poliuretano | 40 | 1674 | 0,029 |
| Espuma de vidrio | 100 | - | 0,047 |
| Fibra de vidrio | 220 | 795 | 0,035 |
| Goma dura | 1150 | 2009 | 0,163 |
| Goma esponjosa | 224 | - | 0,055 |
| Hierro | 7870 | 473 | 72 |
| Hormigón | 2200 | 837 | 1,4 |
| Ladrillo común | 1800 | 840 | 0,8 |
| Madera | 840 | 1381 | 0,13 |
| Mármol | 2400 | 879 | 2,09 |
| Mortero de cal y cemento | 1900 | - | 0,650 |
| Placas de yeso | 600-1200 | - | 0,29-0,58 |
| Plata | 10500 | 234 | 418 |
| Plexiglás | 1180 | - | 0,195 |
| Plomo | 11340 | 130 | 35 |
| Poliestireno | 1050 | 1200 | 0,157 |
| Porcelana | 2350 | 921 | 0,81 |
| Vidrio | 2700 | 833 | 0,81 |
| Yeso | 1800 | 837 | 0,81 |

Fuente: <http://www.miliarium.com/prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.htm>

En nuestra actualidad existe una gran variedad de dispositivos solares diseñados para climatizar un espacio de una forma eficiente y económica, algunos de los principales dispositivos son: el

muro Trombe,(es un muro o pared orientada al sol, preferentemente al norte en el hemisferio sur y al sur en el hemisferio norte construida con materiales que puedan acumular calor bajo el efecto de masa térmica tales como piedra, hormigón, adobe o agua, combinado con un espacio de aire, una lámina de vidrio y ventilaciones formando un colector solar térmico.) la chimenea solar (Una chimenea solar es un sistema para mejorar la ventilación natural de edificios utilizando la convección de aire calentado con energía solar pasiva. La chimenea solar consiste de una chimenea de color negro, la cual se calienta durante el día con energía solar, creando una concentración de aire caliente, el cual genera succión y ventila y refresca el espacio por debajo de la chimenea.), el piso radiante hidrónico solar (es un gran radiador situado debajo del piso de la habitación. Este radiador está formado por un circuito de tuberías de polietileno por el que circula agua caliente. Esta red de tuberías se cubre con un firme de concreto y el acabado que se desee) entre otros.

Como hemos visto el uso de la energía solar térmica para climatizar un espacio es una excelente alternativa ya sea por medios pasivos o activos, sería irracional no intentar aprovecharla, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, podría ser una alternativa para liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras, contaminantes o, simplemente, agotables.

4.4 EL CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA COMO MEDIO DE CALEFACCIÓN

Uno de los principales usos de la energía solar es el calentamiento de agua, este proceso se lleva a cabo aprovechando la energía solar térmica por medio de un captador solar, el cual calienta el agua a una temperatura aproximada de 60° C, esta tecnología se está usando actualmente para climatizar espacios, ya sea por medio de radiadores colocados en el interior de los espacios o en forma de un serpentín ahogado en el piso por el cual se hace circular el agua caliente, la cual transmite el calor al interior del espacio logrando así el confort térmico dentro del espacio.

“Una de las formas más sencillas de aprovechar la energía solar es utilizando los calentadores solares de agua, los cuales son eficientes y fáciles de usar. Los calentadores solares son sistemas fototérmicos en los que se puede canalizar la energía irradiada por el sol hacia nuestros hogares, usándola para calentar agua para uso doméstico, para calentar agua en

deportivos y albercas, para el secado de granos e incluso para mover turbinas que generan electricidad.

El calentamiento de agua por calentadores solares es muy común en países como Alemania, Israel, Grecia, España, Portugal, Japón y Estados Unidos. Regiones cuya ubicación con respecto al sol es menos favorable que la de México. A pesar de ello, en nuestro país este recurso es poco aprovechado” (Mejia, 2005, pág. 3).

El agua caliente sanitaria se usa a una temperatura de 45 °C, temperatura a la que se puede llegar fácilmente con captadores solares planos que pueden alcanzar como temperatura media 80 °C. Se considera que el porcentaje de cubrimiento del ACS anual es aproximadamente de 60 %; se habla de este porcentaje, y no superior, para que en la época de mayor radiación solar no sobre energía. La energía aportada por los captadores debe ser tal que en los meses más favorables aporte el 100 %. El resto de las necesidades que no aportan los captadores se obtiene de un sistema auxiliar, que habitualmente suele ser gas o energía eléctrica. Con este porcentaje de cubrimiento los periodos de amortización son reducidos.

La energía solar térmica puede ser un complemento al sistema de calefacción, sobre todo para sistemas que utilicen agua de aporte a menos de 60 °C. Para calefacción con aporte solar, el sistema que mejor funciona es el de suelo radiante (circuito de tuberías por el suelo), ya que la temperatura del fluido que circula a través de este circuito es de unos 45 °C, fácilmente alcanzable mediante captadores solares.

En épocas de bajas temperaturas la calefacción es algo vital para mantener un nivel de bienestar. La calefacción por agua caliente se ha convertido en una gran opción tanto para usuarios como para los arquitectos a la hora de satisfacer las demandas de sistemas de calefacción.

Los actuales sistemas de calefacción de agua por medio de energía solar son los radiadores y los suelos radiantes. De estos dos modelos los radiadores son los más utilizados pudiendo generar vastas cantidades de agua a una temperatura aproximada de 45°C durante las horas del día. El problema de este tipo de utilización de la energía solar radica en que la temporada de mayor demanda de este tipo de energía coincide con la época del año que menos radiación solar genera el sol. Sin embargo existen dispositivos que nos permiten captar la radiación solar y por medio de

ella calentar agua para uso doméstico y sanitario, estos dispositivos son los colectores solares térmicos.

Los colectores solares térmicos son dispositivos capaces de captar la radiación solar y transmitírsela a un fluido, para su posterior aprovechamiento. Estos se dividen en dos grandes grupos: los colectores solares sin concentración y los colectores solares de concentración.

Los Colectores Solares sin concentración no superan los 70 ° C, por lo que son usados en las aplicaciones de la energía solar térmica de baja temperatura. En los sistemas sin concentración, los más utilizados son del tipo colector plano convencional y colector de vacío. El colector plano convencional es el de mayor uso por su simplicidad de fabricación.

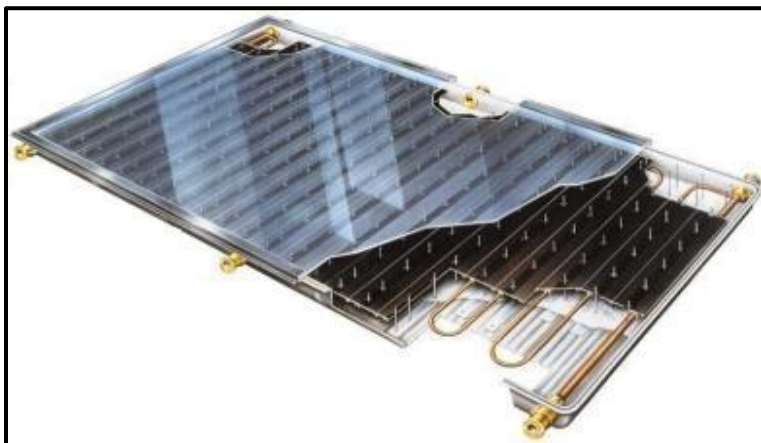


Fig. 32. El colector plano. Fuente: <http://www.sinersol.com/index.aspx>

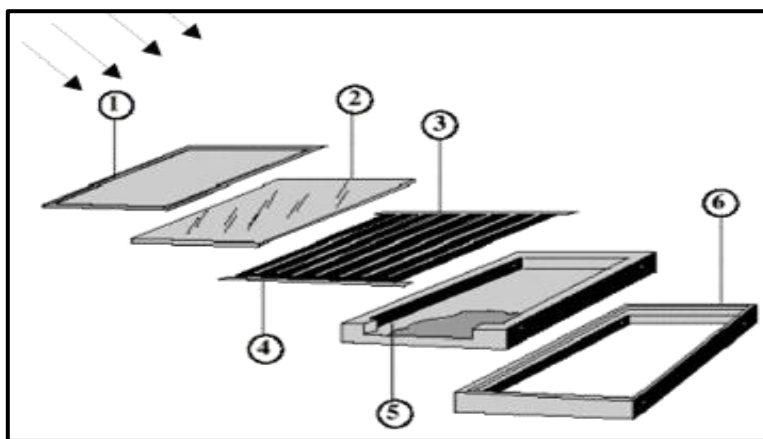


Fig.33. Partes de colector solar plano. Fuente: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE>

En la figura 3.3 vemos cómo está constituido el componente de colector de energía solar, donde:

- 1.- Marco de aluminio
- 2.- Cubierta de vidrio templado
- 3.- Placa absorbedora,
(Enrejado con aletas de cobre)
- 4.- Cabezales de alimentación y descarga de agua.
- 5.- Aislante
- 6.- Caja del colector

Como vemos el colector solar está constituido por varios elementos uno de los más importantes para su buen funcionamiento es el circuito de conducción del agua, este consiste en un serpentín de tubos metálicos por donde circulará el agua que se pretende calentar. Su diámetro es muy pequeño para que el nivel de líquido que circula por él tenga tiempo a calentarse en todo su recorrido. Los tubos se fabrican con materiales que mantengan la temperatura, como cobre o aluminio, y se les pinta de color negro para que no reflejen el calor, sino que la absorban. El conjunto se encuentra montado sobre una placa de absorción igualmente, que también capta calor y lo induce en los tubos. La cubierta transparente y la caja de protección no sólo protegen físicamente todo el conjunto sino que sirven de aislante térmico, impidiendo que la energía captada y transferida al agua que circula por los tubos se pierda a través de sus paredes. Para ello se aplica al interior de la caja un recubrimiento aislante, como la fibra de vidrio, u otro material que mantenga el calor en su interior.

El panel solar así construido juega un papel análogo al de un radiador de calefacción, pero justamente a la inversa. Así como el radiador tiene una superficie metálica diseñada para emitir el máximo de potencia calorífica a través de sus elementos, el panel solar tiene sus elementos

diseñados para captar el máximo de calor y transferirlo a los tubos, los cuales precisamente alimentarán generalmente a sistemas de radiadores de calefacción, u otros servicios de agua caliente.

El funcionamiento del colector solar sin concentración se basa en el efecto invernadero. La radiación solar que entra a través de la cubierta de vidrio, incide directamente sobre el sistema de conducción de agua (conectados al suministro de agua fría) y la placa absorbente. Cuando el colector entra en funcionamiento (entrada de agua fría por primera vez), el sistema absorbe gran cantidad de energía, ya que necesita calentar todos los elementos y el agua del interior del serpentín, pero una vez que alcanza el punto denominado de equilibrio dinámico, es la propia placa la que emite calor, del cual sólo una pequeña parte inferior al 10 % se perderá por radiación a través de la cubierta de vidrio. Es entonces cuando se mantiene un efecto invernadero en el interior de la caja colectora, que es preciso mantener mediante un buen aislamiento de las paredes, evitando las pérdidas convectivas.

Un sistema más avanzado de colector solar sin concentración es el colector plano de vacío. El diseño es muy similar al colector plano convencional, pero fabricado con materiales que obtienen altos rendimientos, y que poseen características especiales, tales como superficies selectivas, es decir, materiales que absorben ciertas frecuencias como los infrarrojos, pero que apenas los emiten, permitiendo absorciones del orden del 95 %. Además, las pérdidas de convectivas están reducidas al máximo mediante el vacío de la caja, la cual aumenta el rendimiento considerablemente (fig. 34). La desventaja de este sistema radica en el empleo de materiales más costosos y el delicado proceso de vacío.

Ambos sistemas de colector solar precisan algún sistema alternativo de energía. Por esta razón es imprescindible el empleo de acumuladores de calor que almacenen la energía calorífica que no ha sido utilizada, ejemplo de los clásicos termos de agua caliente, para su posterior empleo en ausencia de radiación solar. Un ejemplo de aplicación de los colectores solares sin concentración sería la producción de agua caliente sanitaria

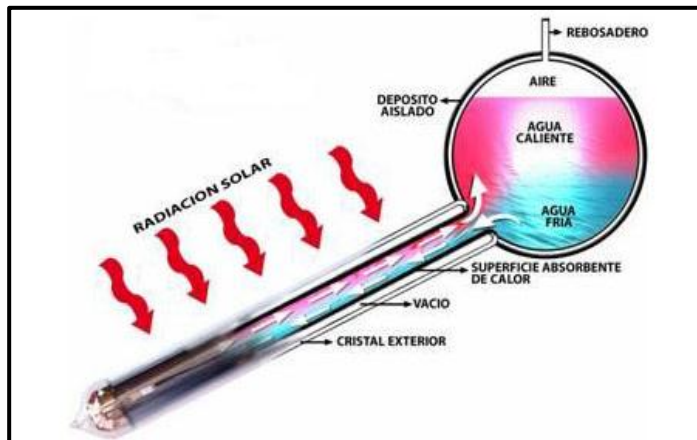


Fig. 34. Colector de tubos evacuados. Fuente: <http://www.e-renovables.es/imagenes/colector.jpg>

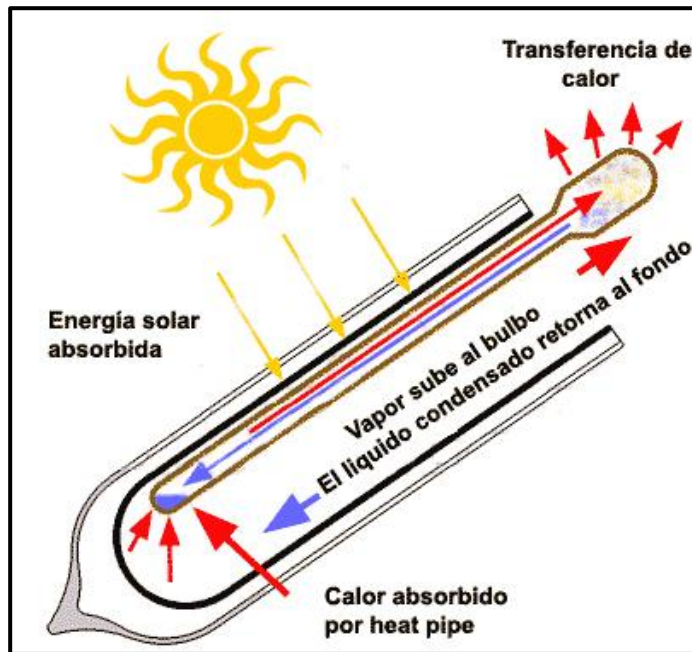


Fig.35. Funcionamientos de los tubos evacuados. Fuente: http://www.greenenergytechnologies.cl/img/heat_pipe

Los Colectores Solares de Concentración; los cuales, haciendo uso de los métodos de concentración de la óptica, son capaces de elevar la temperatura de fluido a más de 70 ° C. Estos se aplican en la energía solar térmica de media y alta temperatura.

Así como en los sistemas de colector solar sin concentración, las placas son expuestas directamente al Sol y se encuentran ausentes de elementos móviles, en los sistemas con

concentración, como su nombre indica, se concentra la luz solar sobre la zona que se desea calentar. Esto se realiza mediante espejos o lentes apoyados en materiales selectivos, que calientan el líquido que circula por el interior de un tubo, en el que incide la radiación concentrada del Sol, permitiendo un mejor rendimiento que los colectores sin concentración.

“Los dos sistemas que se utilizan para la obtención de agua caliente a partir del aprovechamiento de la radiación solar se diferencian fundamentalmente entre sí, por la manera de circular el agua por el interior del circuito. Esta circulación se consigue: Por termosifón o mediante bomba impulsora” (Causa, 1989, pág. 104).

El funcionamiento del termosifón se explica con las corrientes de convección naturales de los fluidos, en los que las partes calientes de los mismos tienden a ascender. A este fenómeno se le conoce también como sistema de circulación natural, aplicado a la producción de agua caliente mediante captadores solares.

El funcionamiento mediante bomba impulsora. Para poder hacer que el agua circule se requiere que esté bajo presión. Por ello se utilizan las bombas circuladoras que funcionan para que el agua recircule en forma constante

La elección del agua como transportador de calor se debe a que es una sustancia barata, común en todas las edificaciones y, sobre todo, su calor específico (cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado. En el Sistema Internacional de unidades, el calor específico se expresa en julios por kilogramo y kelvin; en ocasiones también se expresa en calorías por gramo y grado centígrado) es el mayor entre todas las sustancias conocidas, por lo que requiere un caudal menor que cualquier otra sustancia para transportar la misma cantidad de calor. Su capacidad calorífica (la Capacidad Calorífica de una sustancia es una magnitud que indica la mayor o menor dificultad que presenta dicha sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Puede interpretarse como un efecto de Inercia Térmica) es superior a la de cualquier otro líquido o sólido, siendo su calor específico de 1 cal/g, esto significa que una masa de agua puede absorber o desprender grandes cantidades de calor, sin experimentar apenas cambios de temperatura.

CAPITULO V

CONFORT Y CONSUMO ENERGÉTICO EN LA VIVIENDA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

CAPÍTULO V

5 CONFORT Y CONSUMO ENERGÉTICO EN LA VIVIENDA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

5.1 EL CONFORT TÉRMICO EN LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Las condiciones de comodidad o confort térmico dependen de las variables del medio ambiente, como la temperatura, humedad, velocidad del aire y radiación incidente. Los métodos para determinar las condiciones de comodidad térmica se desarrollaron desde finales del siglo pasado, y a partir de estos se implementaron normas o sugerencias de valores de los parámetros dentro de los cuales el ser humano siente comodidad.

La temperatura y humedad determinan la zona de confort, estas variables pueden verse modificadas por la presencia de viento, el cual incrementa el mecanismo de transferencia de calor por convección (movimiento del aire); la incidencia de radiación (calor emitido por el sol o las superficies caliente) dificulta la salida de calor del cuerpo humano; la ocurrencia de enfriamiento por evaporación en el aire que entra en contacto con el cuerpo humano aumenta la salida de calor del mismo; la pérdida de radiación infrarroja del cuerpo humano generada por superficies frías que lo circundan, favorece la salida de calor. La modificación de la temperatura del aire entra en contacto con el cuerpo humano debido a la transferencia de calor por convección con materiales que conforman el medio ambiente y son capaces de almacenar calor de manera sensible (estos materiales pueden ser los materiales de construcción del edificio). Estos conceptos mencionados resultan muy importantes para fijar las estrategias de diseño térmico de una vivienda.

El confort en la vivienda se puede lograr por medio de una serie de soluciones sencillas y poco costosas, limitar las ganancias de calor dentro de la vivienda, enfriarla de una manera más económica, o calentarla, si es el caso.

Ante cualquier condición climática, la vivienda debe intentar conseguir el máximo nivel de confortabilidad, lo cual implica el estudio de un fenómeno complejo en el que intervienen muchos parámetros y factores como el clima, el cual se puede entender como el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan a una región o como el efecto a largo plazo de la radiación solar sobre la superficie y la atmósfera de la tierra en rotación. El modo más fácil de interpretarlo es en términos de medias anuales o estacionales de temperatura, humedad relativa y precipitaciones.

A través de la historia se puede observar como se ha dado una respuesta a las condiciones adversas del clima, mediante el acondicionamiento térmico, tanto de la arquitectura como de espacios exteriores para facilitar la adaptación del hombre al medio. Sin embargo, se ha hecho más evidente en la primera que en el segundo, lo cual ha sido realizado fundamentalmente de forma intuitiva.

“La vivienda es el espacio en el que la familia encuentra estabilidad, seguridad, consolidación patrimonial, sentido de pertenencia y el entorno necesarios para el desarrollo integral del ciudadano, de la pareja y de los hijos. Es por ello uno de los indicadores básicos del desarrollo humano de las naciones. [Por tal motivo hay que poner mayor interés en las condiciones de habitabilidad de las viviendas].

La gran demanda de viviendas en la ciudad de México es un problema que está afectando los procesos constructivos de las mismas debido a que las empresas encargadas de construirlas, están limitando cada vez más la calidad de sus materiales, esto afecta el confort dentro de los espacios produciendo altas temperaturas en las épocas calurosas y temperaturas muy bajas en la época invernal, trayendo consigo problemas de salud en los usuarios, además de incrementar el gasto energético debido a la implementación de equipos de calefacción que el usuario forzosamente necesita para conseguir mejores condiciones de confort dentro de sus espacios” (Vivienda, 2008, pág. 7).

En México se presenta una gran demanda de vivienda, es por eso que las compañías constructoras llevan a cabo proyectos en su totalidad de grandes fraccionamientos y conjuntos habitacionales por todo el país. Hoy en día, la vivienda de menor precio en el mercado urbano

cuesta 170 mil pesos, y la capacidad de compra a crédito de las familias de ingresos más bajos apenas alcanza para cubrir cerca de la mitad de ese monto. Un problema adicional es que la oferta en esos rangos de precio es sumamente escasa, fundamentalmente debido al impacto de los costos de la tierra en las ciudades.

“Las empresas constructoras son las fuentes generadoras de empleo, y buscan obtener mayores resultados productivos de sus trabajadores. Bajo este interés las constructoras están relacionadas con diferentes programas de vivienda, como el INFONAVIT, FOVISSSTE, constructoras privadas, entre otras. Ya que para estas empresas que el trabajador tenga o no una buena calidad de vida, repercute en su desarrollo laboral. Sin embargo, dichos programas no ofrecen una alternativa arquitectónica que satisfaga las necesidades espaciales de la población de estas urbes, así como tampoco responden a las características climatológicas de cada ciudad, ya que dichas construcciones son las mismas para todo el país” (Viviendas de interés social, 2008).

El INFONAVIT, FOVISSSTE, y otras desarrolladoras de viviendas de nivel medio bajo han desarrollado conjuntos habitacionales que no responden a las necesidades del usuario, aunque es un programa federal de vivienda no ha aplicado un sistema de calidad, por lo cual no se les ha brindado comodidad y confort a los usuarios de estos fraccionamientos y conjuntos habitacionales.

Es obvio que la principal causa del problema de vivienda radica en el hecho de que la mayor parte de la población se ve imposibilitada para obtener una vivienda digna dado que no cuentan con el ingreso requerido para ella.

La gran mayoría de empresarios solo quieren invertir en la vivienda para obtener utilidades debido a la gran demanda de este tipo de vivienda, pero con ello olvidan realmente el objetivo final de la construcción, que es precisar los términos de la demanda en base a los requerimientos de habitabilidad, ubicación de las viviendas y de los recursos que se disponen.

La vivienda de interés social en México, además, se construye utilizando como base prototipos en los que dominan criterios de función y economía sobre la forma, estética y el confort humano. Estos prototipos son los destinados a sectores populares los cuales buscan satisfacer las necesidades mínimas y garantizar la calidad de vida de los futuros usuarios, intentando superar los problemas de aglomeración y precariedad que ha caracterizado la vivienda de los sectores de menores ingresos.

“A las necesidades de cobertura se agregan las de la calidad de la vivienda y su entorno. El desarrollo habitacional en nuestro país ha carecido históricamente de criterios de sustentabilidad. Tiende a dar lugar a un crecimiento urbano caótico y a una explotación irracional del agua, la energía y los recursos naturales de la Nación, que amenazan la integridad de las familias, su calidad de vida, su salud y propician la inseguridad y el desarrollo de conductas antisociales. Este fenómeno se profundiza particularmente en las zonas metropolitanas, cuyo crecimiento demográfico ha absorbido el territorio de más de un municipio.” (Vivienda, 2008, pág. 37)

Todos estos factores hacen que la vivienda de interés social de la ciudad de México carezca de las condiciones necesarias para el confort humano, esto debido en gran parte a la variedad de sistemas constructivos, materiales y formas que han dejado en segundo plano al confort, las empresas constructoras deberían preocuparse por realizar un análisis de acuerdo a la ubicación y a las condiciones climatológicas del sitio con el objetivo de proveer viviendas que cumplan con las mejores condiciones de confort para sus ocupantes.

En el caso de la ciudad de México el clima es un aspecto importante a analizar ya que las condiciones de confort dentro de las viviendas se pueden ver afectado por éste. “En su mayor parte la ciudad de México presenta un clima templado. El verano es fresco, lluvioso y prolongado y el invierno seco con lluvias escasas; se presenta poca oscilación anual (entre 5° y 7°C) y el clima es de tipo Ganges” (Chávez, 2000, pág. 42).

Hoy en día la arquitectura bioclimática se preocupa por el clima y las condiciones del entorno para ayudar a conseguir el confort térmico interior mediante la adecuación del diseño, la

geometría, la orientación y la construcción del edificio adaptado a las condiciones climáticas de su entorno.

Debido al clima templado de la ciudad de México la temperatura es un parámetro muy importante de tomar en cuenta a la hora de proyectar una vivienda, esto con el afán de conseguir el confort térmico dentro de ella.

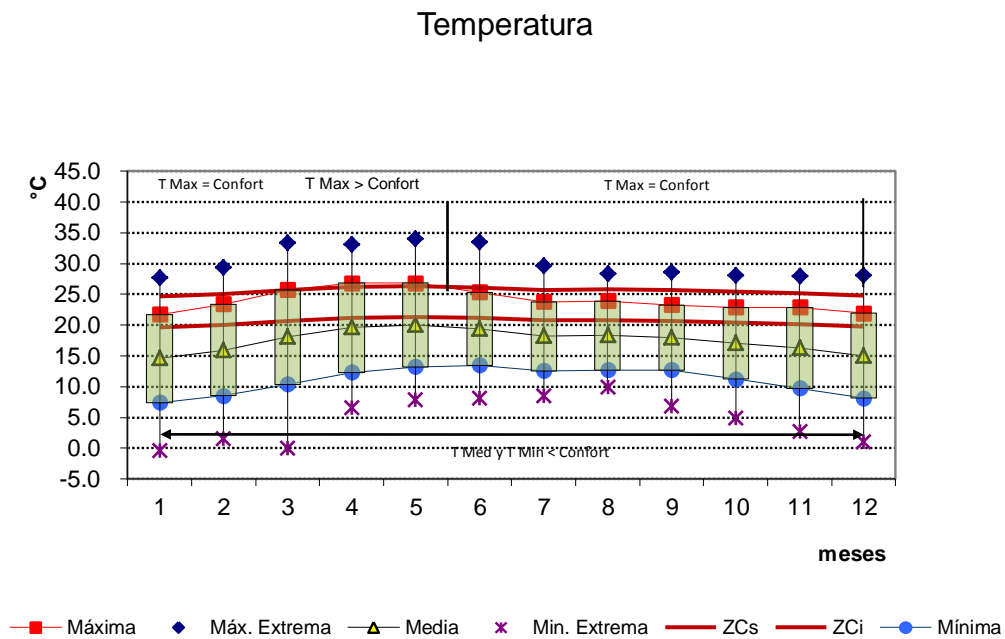
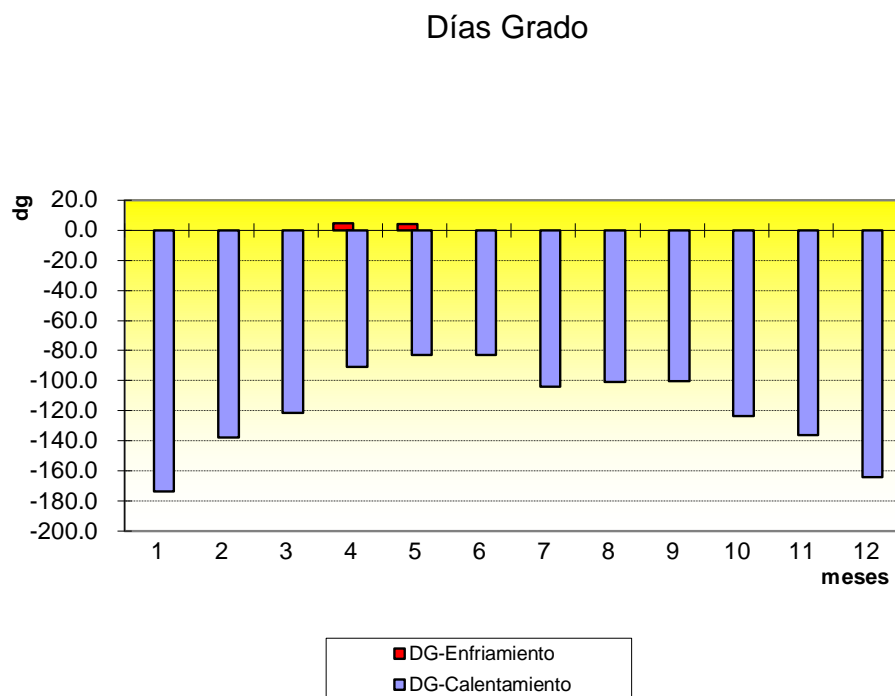


Fig. 36. Gráfica que muestra el comportamiento de la temperatura de la ciudad de México durante todo el año.
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya.

“Existe un parámetro térmico de gran utilidad en el diseño bioclimático conocido con el nombre de días-grado, el cual nos indica los requerimientos básicos de calefacción o enfriamiento de un lugar. Para la ciudad de México el déficit de grados de temperatura, tomando como base una temperatura mínima de confort igual a 18°C (días grado Generales), es de 862.8 dgc de manera anual. Únicamente en los meses de abril y mayo no es necesario el calentamiento ya que la temperatura media se encuentra igual o por arriba de los 18 °C (fig. 37). Los meses con mayores

requerimientos de calentamiento son enero y diciembre, con 173.4 dgc” (Chávez, 2000, pág. 43).



*Fig. 37. Gráfica que muestra los requerimientos de calentamiento de la ciudad de México durante todo el año.
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya.*

Conociendo estos parámetros las empresas desarrolladoras de vivienda podrían hacer un mejor diseño de ellas. Las cuales puedan cumplir con las condiciones de confort adecuadas para su habitabilidad.

Para tener una mejor comprensión sobre las condiciones de confort adecuadas, explicaremos un poco este término. Podemos definir a éste como un estado de completo bienestar físico, mental y social, el cual depende de multitud de factores personales y parámetros físicos. Según Víctor Fuentes:

“El confort térmico se refiere a la percepción del medio circundante que se da principalmente por medio de la piel, aunque en el intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente, los

pulmones intervienen de manera muy importante. A través del diseño de los espacios arquitectónicos y sistemas pasivos de climatización es posible conseguir condiciones térmicas confortables, lo cual repercute en la salud y en el confort de los usuarios” (Fuentes, 2004, pág. 20).

En la tabla 11 se muestran los factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort térmico

Tabla 11. Factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort térmico

| Parámetros de confort | | Factores de confort | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--|--|
| Ambientales | Materiales | Fisiológicos | Cognitivos | Arquitectónicos | |
| Temperatura del aire | Reflectividad | Sexo | Aclimatación | Movilidad del sujeto | |
| Humedad relativa | Absortividad | Edad | Vestimenta | Dimensiones y proporciones del espacio | |
| Velocidad del viento | Transmisividad | Constitución corporal | Expectativas de confort | de Dispositivos de control pasivos | |
| Radiación solar | Conductividad Térmica | Actividad | Conocimiento de clima | del Dispositivos de control activos | |
| Temperatura radiante | Emisividad | Estado de salud | Conocimiento del entorno | | |
| | Capacitancia | Historial térmico | | | |
| | | Tiempo de permanencia | | | |

Fuente: http://www-fa.upc.es/docencia/arquitectura/fmaa/Explica_Confort.pdf

La temperatura óptima de confort para la ciudad de México es de 22.4 °C pero se considera un rango aceptable entre 19.9° C y 24.9 °C, siendo este rango el más adecuado en un espacio interior para que las personas se sientan en confort, debido a las características del clima de la ciudad de México, estas condiciones no se pueden obtener en el interior de las viviendas, debido a las deficiencias en cuanto a material, ubicación, orientación y formas de la vivienda de interés social.

Por regla general, el diseño convencional de edificaciones no incluye el estudio a detalle de todas las variables que influirán en la comodidad higrotérmica de sus ocupantes; cuando se dispone de

los recursos económicos para hacerlo, se recurre al uso de aire acondicionado y/o al de calefacción para lograr este fin, desgraciadamente la economía, la naturaleza, la salud y las condiciones de bienestar del hombre han sido seriamente afectadas por tal acción, por lo tanto es necesario crear conciencia e impulsar una eficiente utilización de los recursos naturales que hoy sirven para generar energía y climatizar espacios.

En México, existen más de 23 millones de viviendas. En aquellas en donde el aumento en el uso de energía se debe a la necesidad de climatizar el ambiente, la elevación en el consumo de energía se relaciona con tres factores: el clima del lugar, la ineficiencia tecnológica y el diseño inadecuado de la vivienda, elementos que pueden presentarse combinados o de manera individual.

Para ahorrar energía en los sistemas de climatización es necesario adecuar la envolvente de la vivienda, con la finalidad de mejorar su comportamiento térmico, lo cual puede lograrse con base en criterios bioclimáticos, como la ventilación natural, el control solar, el enfriamiento pasivo y el uso de material aislante, etcétera.

Para dar respuesta a esta problemática el gobierno federal ha implementado diversos programas como el Programa nacional de vivienda 2002- 2012. Hacia un desarrollo sustentable. En donde se promueve el desarrollo sustentable de las viviendas y el uso eficiente de las energías. Dentro de este programa el presidente de la República Felipe Calderón menciona que:

“El desarrollo sustentable no puede limitarse a la construcción de casas, no se trata de hacinar a la gente [...]. Mi Gobierno apoyará todo esfuerzo de vivienda que se desarrolle con base en una adecuada planeación urbana y que promueva un desarrollo ordenado y sustentable de nuestras ciudades [...]. Viviendas que estén armónicas con el medio ambiente, desarrollos que permitan la recuperación de mantos acuíferos en las zonas que están en peligro, viviendas ahorradoras de energía eléctrica, viviendas que verdaderamente contribuyan a que el desarrollo se dé en armonía con la naturaleza” (Hinojosa, 2008, Pág. 36).

Este Programa nacional de vivienda plantea 4 estrategias en las cuales se promueve el desarrollo sustentable en la vivienda, siendo estas:

“Estrategia 1: Estimular la construcción de desarrollos habitacionales con características de sustentabilidad.

Estrategia 2: Impulsar la disponibilidad de suelo apto para el desarrollo habitacional sustentable, mediante mecanismos financieros para la constitución de reservas territoriales.

Estrategia 3: Promover la actualización de los marcos normativos que regulan el desarrollo habitacional en los estados y municipios.

Estrategia 4: Apoyar el mantenimiento, el mejoramiento y la ampliación de la vivienda rural y urbana existente” (Vivienda, 2008, pág. 40-44).

Por su parte la Secretaria de Energía por medio de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), tiene el objetivo de promover la eficiencia energética y constituirse como órgano de carácter técnico, en materia de aprovechamiento sustentable de la energía. Por tal razón en coordinación con la ANES (Asociación Nacional de Energía Solar), brindará apoyo técnico al INFONAVIT para que conjuntamente impulsen y fomenten el uso eficiente de la energía y el aprovechamiento de energías renovables en la construcción de nuevas viviendas.

Uno de los objetivos primordiales de esta institución es impulsar en el sector residencial de México, el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua, a través del fortalecimiento de las acciones y mecanismos actualmente en operación y del diseño e implementación de esquemas nuevos e innovadores; por medio de estas iniciativas se busca mejorar las condiciones de confort y sustentabilidad en la vivienda, con el fin de proveer de espacios dignos y habitables a los usuarios.

5.2 CONSUMO ENERGÉTICO EN MÉXICO

La energía ha sido, es y seguirá siendo un factor primordial para el desarrollo económico y social del país y por lo tanto, es indispensable aprovechar los recursos energéticos con los que contamos de manera eficiente y sustentable.

“En México 76.1 % de la energía que se consume proviene de la quema de hidrocarburos y aproximadamente 19.6 % de dicho consumo se refiere al sector inmobiliario” (Energía, 2007). El desarrollo de cualquier país depende de su habilidad para emplear los recursos energéticos en acciones que fortalezcan la competitividad de su economía, conjuntamente con la protección del ambiente.

La Comisión Nacional de Ahorro de Energía (Conae) estima que en México tenemos un potencial de ahorro de energía superior al 20 %, lo que significa una economía de 100 mil millones de pesos al año.

En México la cultura de ahorro de energía se inició hace más de una década, pero los beneficios aún no son palpables. La sociedad mexicana requiere de nuevos diseños de viviendas que se adapten a sus necesidades y, que además modifiquen las tecnologías actuales altamente consumidoras de energía sin afectar el valor adquisitivo de la misma, ya que debido a la mala construcción de éstas y a sus deficiencias térmicas, los usuarios se ven en la necesidad de usar sistemas de calefacción, esto provoca un consumo inmoderado de energía, porque los usuarios desconocen los criterios básicos de cómo elegir un equipo de calefacción de acuerdo a las necesidades de calentamiento que requiere su hogar, generalmente este es uno de los principales causas del alto consumo energético.

Para dotar de energía a las viviendas se requiere de la producción de energía eléctrica y combustible, cuya producción proviene de las fuentes renovables y no renovables. Las fuentes no renovables además de agotarse generan contaminación y emisiones de gases de efecto

invernadero que contribuyen al calentamiento global del planeta. Por tal razón, en México más del 75 % de la energía que se consume proviene de la quema de hidrocarburos, correspondientes a energéticos no renovables.

La energía es, al mismo tiempo, una solución y un problema para el desarrollo sustentable, ya que es indudablemente útil, pero a la vez es una de las principales fuentes de contaminación del aire y en general del medio ambiente, aunado a la afectación que produce en la salud humana.

En el año 2006, el gobierno con el afán de transformar a México en una nación con desarrollo sustentable, incluyó dentro del Programa Sectorial de Vivienda 2001-2006, la promoción de la racionalización del consumo de energía mediante el uso de equipos energéticamente eficientes que funcionen con fuentes alternas de energía, así como recomendaciones de diseño sustentable para la construcción de viviendas.

“Actualmente, el sector relacionado con los edificios consume el 19.76 % de total de la energía del país, las viviendas representan el 83.8% de ese total, esto equivale al 16.53% del total de energía que se consume en la República Mexicana” (SENER, 2008). Este es un sector importante no sólo por el consumo energético que representa, sino por el porcentaje de población que representan los usuarios de las viviendas.

En México, el sector energético representa el 3% del Producto Interno Bruto. Las exportaciones petroleras representan 8.4% del total de las exportaciones nacionales. Los impuestos a hidrocarburos representan 37% de los ingresos fiscales. México ocupa el 9o lugar a nivel mundial en reservas probadas de petróleo crudo y el 4o en reservas de gas natural en el continente americano, después de Estados Unidos, Venezuela y Canadá. En cuanto al petróleo Pemex es la quinta empresa petrolera del mundo y la más rentable en términos de generación de ingresos vía impuestos. Por su parte CFE (Comisión Federal de Electricidad) genera 98% de la electricidad nacional, además de transmitir y distribuir 94% de la misma.

En el año 2010 el consumo total de energía fue de 4,667 petajoules (pJ). De los cuales el sector de transporte consumió 48% del consumo energético final, el sector industrial abarcó el 29%. Mientras que, el agregado formado por los subsectores residencial (vivienda), comercial y público registró solo 20% y muy por debajo está el sector agropecuario con 3% del consumo final (Fig. 38).

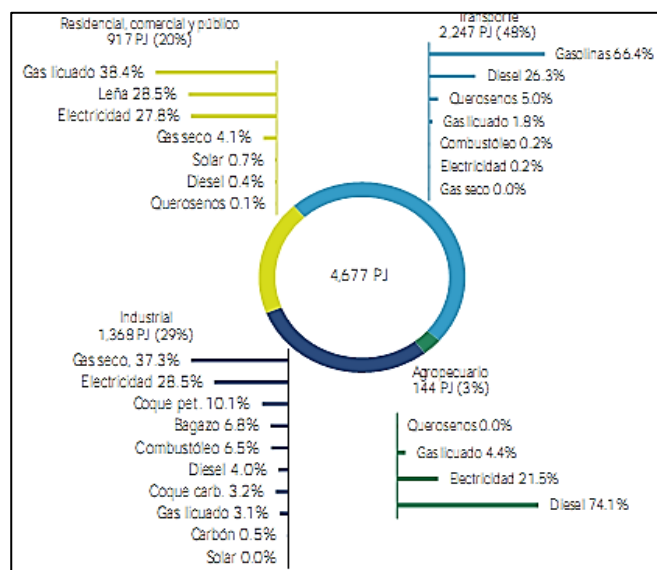


Fig. 38 Consumo energético en México por sector. Fuente: Balance Nacional de Energía 2010

En la vivienda, la energía se utiliza principalmente para calentar agua, preparar alimentos, iluminación, conservación de alimentos y diversas formas más. En el promedio nacional del uso de la energía en la vivienda de México, se observa que el mayor uso es para la cocción de alimentos, seguido por el calentamiento de agua y la iluminación. La climatización y los electrodomésticos ocupan el 3er lugar en el promedio nacional.

La mayor parte de la energía que se utiliza en la vivienda, industria, comercio, etc. está sujeta a distintos procesos de generación, transformación, transmisión y distribución. El tipo de generación dependiendo de la fuente se clasifica en renovable y no renovable.

La no renovable es la de origen fósil (petróleo, gas y carbón, entre otros) y la renovable se basa en el uso de los ciclos naturales (biomasa, geotermia, eólica, hidroeléctrica, solar, etcétera) (Fig. 39).

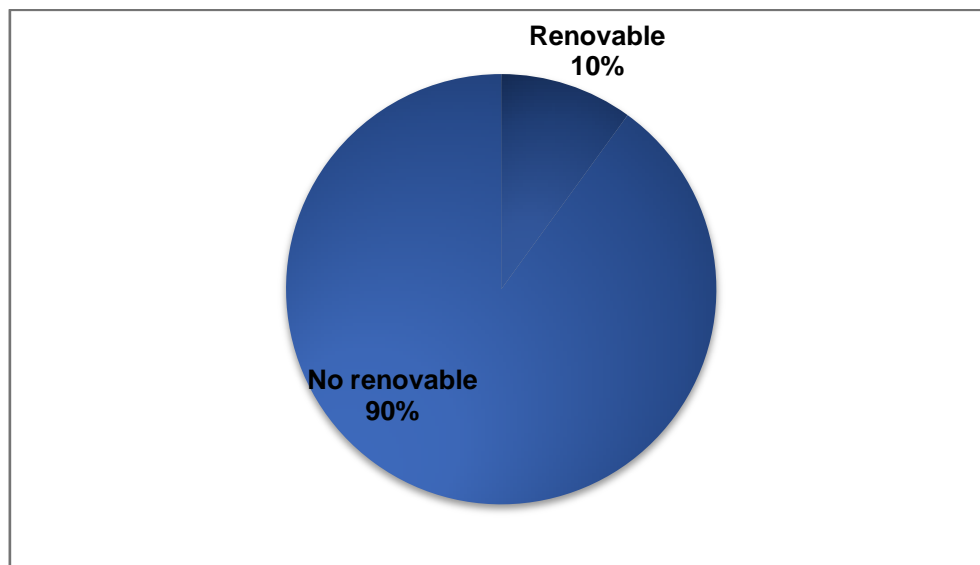


Fig. 39. Origen de los energéticos en México. Fuente: Balance Nacional de Energía 2010

La electricidad ocupa el tercer lugar en el consumo final de energía siendo la que más se relaciona con el consumo energético en la vivienda. Resulta que 75% de la electricidad se genera a partir de combustibles fósiles, utilizados en plantas o centrales termoeléctricas (que producen calor y vapor para mover los generadores), las cuales consumen gas natural, combustóleo y carbón, que son recursos que pueden agotarse en la naturaleza (fig. 40).

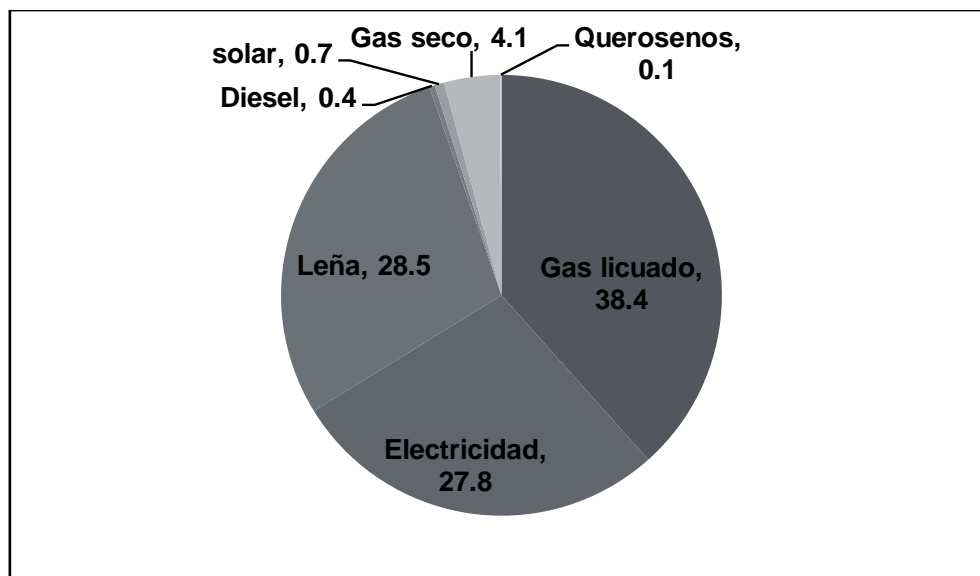


Fig. 40. Consumo final energético por tipo. Fuente: Balance Nacional de Energía 2010

La producción de energía mediante combustibles fósiles, el uso de tecnologías industriales atrasadas y la deforestación, entre otros factores, han provocado un aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. El cambio climático es una de las principales preocupaciones a nivel mundial y el sector energético uno de los principales responsables. En México, se ha observado un consumo creciente de energéticos durante los últimos años. Además, los hidrocarburos han incrementado su tasa de participación como fuente principal de consumo, pasando de 80.9 % en 2001 a 83.7 % en 2007 (fig. 41)

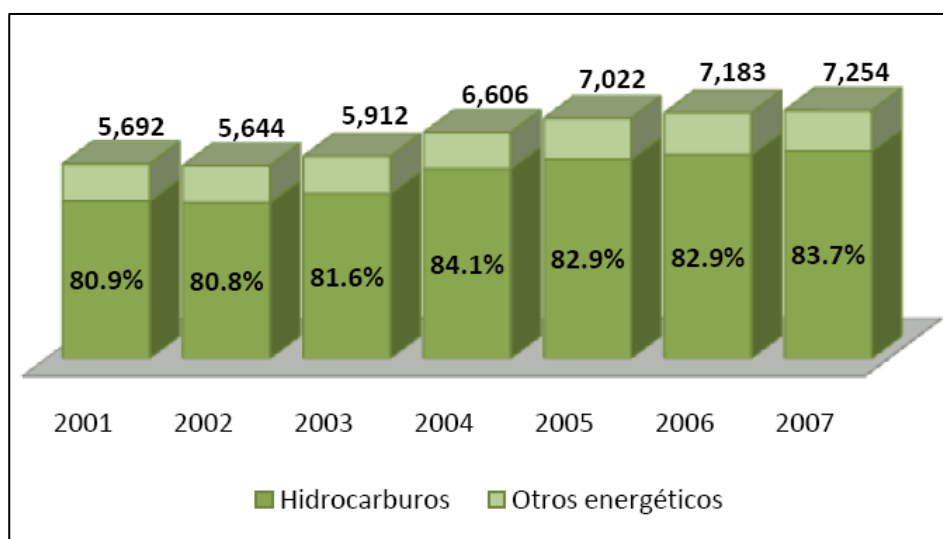


Fig. 41. Consumo interno de Energéticos (Petajoules). Fuente: Secretaría de Energía Balance Nacional de Energía

“La seguridad energética es para México un objetivo central, debido a que nuestro consumo de energéticos depende, principalmente, del petróleo y del gas natural. Por ello, y con el objetivo de reducir los riesgos inherentes al alto consumo de combustibles fósiles, es conveniente que la matriz energética incluya una mayor participación de fuentes renovables” (Programa Sectorial de Energía 2007 – 2012, pág. 6).

México cuenta con 12.393 mega watts de capacidad instalada de generación eléctrica con base en energías renovables, lo que representa el 23.6 % de capacidad instalada en el sistema eléctrico nacional (fig. 42).

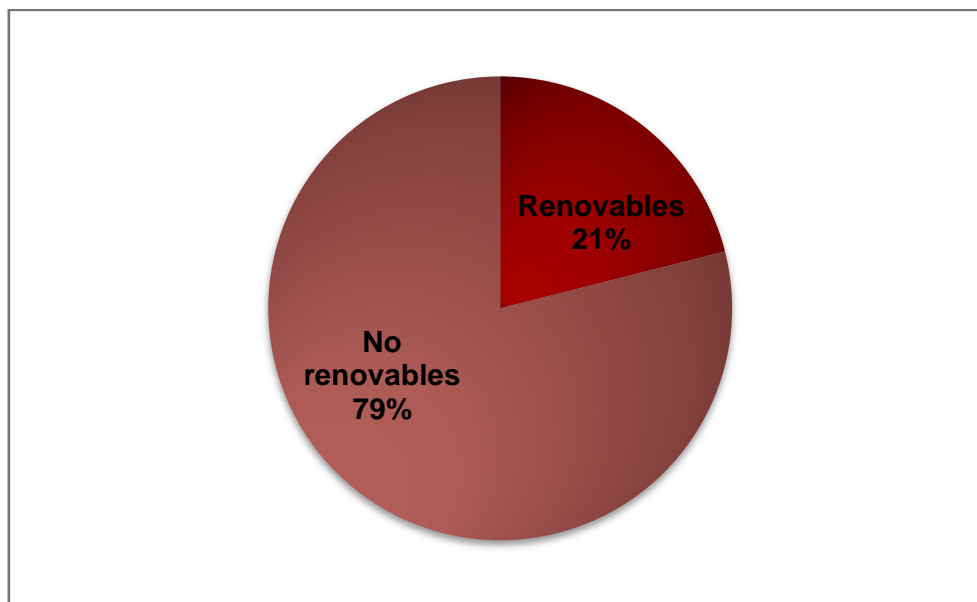


Fig. 42. Capacidad Instalada de Generación Eléctrica. Fuente: Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017

En 2008 el consumo final energético alcanzó los 4,814.92 PJ, estando 259.4 PJ por arriba de 2007. El mayor consumidor de energía fue el sector transporte con 50.4 %. El sector industrial representó el 27.9 % de dicho consumo, mientras que el agregado formado por los subsectores residencial, comercial y público registró una participación del 18.7 %. El sector agropecuario únicamente aportó 3.0 %.

“El consumo de energía del sector residencial fue de 750.13 PJ, mientras que en el año anterior éste fue de 743.12 PJ. Los energéticos de mayor consumo en este sector fueron el gas licuado de petróleo y la leña, con participaciones de 40.2 % y 32.8 %, respectivamente. La electricidad aportó 22.8 %, el gas seco 4.1% y los querosenos tuvieron una aportación marginal de 0.1 %.

A diferencia del sector residencial, el sector comercial disminuyó su consumo de energía, al pasar de 125.44 PJ en 2007 a 125.23 PJ en 2008. El gas licuado de petróleo aportó 50.2% del consumo, seguido por una participación de 39.2% de la electricidad. El gas seco y el diesel contribuyeron con el 7.1% y 3.5%, respectivamente.

Por su parte, el sector público consumió 25.47 PJ de electricidad en 2008, cifra 3.89 % superior a la registrada en 2007” (Secretaría de Energía, 2008)(fig. 43).

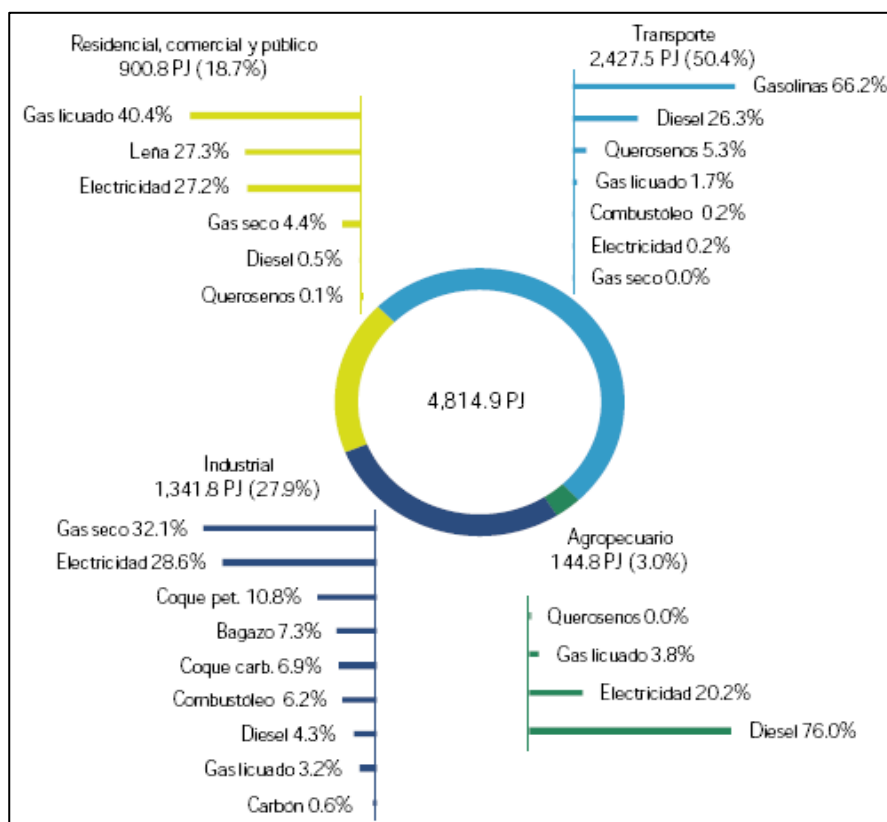


Fig. 43. Consumo final de energético por sector y tipo. Fuente: Balance Nacional de Energía 2008

“Las tecnologías de eficiencia energética y de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, además de ser alternativas para llevar el servicio a zonas marginadas y de difícil acceso, son motores del desarrollo regional, con la creación de pequeñas empresas y empleos al interior de las comunidades. Además, los usuarios de las tecnologías de eficiencia y de aprovechamiento de las fuentes renovables resultan beneficiados mediante ahorros en los gastos que realizan por el pago de insumos energéticos” (Programa Sectorial de Energía 2007 – 2012, pág. 7).

La producción de energía mediante combustibles fósiles, el uso de tecnologías industriales atrasadas y la deforestación, entre otros factores, han provocado un aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. El cambio climático es una de las principales preocupaciones a nivel mundial y el sector energético uno de los principales responsables.

5.3 EL CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA, UNO DE LOS PRINCIPALES GENERADORES DE CONSUMO ENERGÉTICO.

Uno de los principales usos finales de la energía en las actividades humanas es el calentamiento de fluidos, en particular de agua, a temperaturas por debajo del punto de ebullición (100°C). En el sector residencial, el agua es calentada para la higiene personal y para el lavado de ropa y/o utensilios relacionados con la preparación y consumo de alimentos. Además en los sectores de altos ingresos se utiliza para calentar el agua de albercas. En este sentido, el calentamiento de agua es un proceso relativamente simple que se obtiene predominantemente con la quema de combustibles fósiles tales como gas LP, gas natural y leña, esto último en zonas rurales o periurbanas.

El sistema energético actual se conforma principalmente por el uso de combustibles fósiles, los cuales tienen un impacto nocivo sobre el medio ambiente, por lo que la reducción consumo energético y su progresivo reemplazo por energías renovables es una opción para reducir el consumo de energías convencionales y el impacto sobre el medio ambiente.

El agua caliente constituye un consumo energético importante en las viviendas, ya que esta tiene diversos usos como la higiene personal, la limpieza de la casa entre otras. En investigaciones internacionales se han realizado medidas de este consumo. En general se considera que un consumo medio es del orden de los 50 litros por día y persona. En los países en desarrollo este consumo constituye entre el 30 y el 40 % del consumo de energía de una vivienda, este porcentaje es mayor que en los países desarrollados, donde el consumo de energía para producir agua caliente sanitaria (ACS) es del 26 % aproximadamente del consumo total de la vivienda.

El calentamiento de agua sanitaria para consumo doméstico generalmente se lleva a cabo por medio de gas. El calentador de gas LP que más se utiliza en México consiste en un tanque que almacena agua caliente después de haber sido calentada por un quemador. Algunos de estos calentadores son manuales (sólo se encienden cuando se necesita agua caliente) y otros de mayor consumo, tienen un termostato que mantiene el agua a una temperatura constante. La eficiencia

de estos dispositivos es baja debido, principalmente, a las pérdidas de calor en el almacenamiento y distribución del agua caliente. Los ahorros de energía más significativos que se pueden lograr usando este tipo de calentadores es del orden del 10 % y 20 %, lo cual depende del calentador base y de que se lleven a cabo acciones como:

- a) Aislar el calentador y los tubos de distribución.
- b) Utilizar el encendido electrónico y aumentar la eficiencia de los quemadores.

Cuando se utilizan calentadores de paso se obtiene un mayor ahorro de energía (entre 30 % y 40 %), debido a que se evitan las pérdidas por almacenamiento del agua caliente. Este tipo de calentadores se utiliza sobre todo en edificios ya que su tamaño es mucho menor que los que almacenan agua caliente, lo cual permite colocarlos en espacios reducidos. Una medida adicional es el uso de regaderas más eficientes, la cual disminuye el consumo de agua caliente y, por lo tanto, un ahorro de energía. Pero una medida eficiente para reducir de manera importante la demanda de gas LP que se usa para el calentamiento de agua es la sustitución de calentadores convencionales por calentadores solares. Esta tecnología es sencilla y de bajo costo, por ello, su uso exclusivo o mixto (solar y gas LP), podría constituir un importante potencial de ahorro tanto en las ciudades como en zonas rurales.

Otra forma de calentar el agua para uso doméstico es a través de leña, generalmente utilizada en las zonas rurales de México. Es difícil establecer el potencial de ahorro en cuanto al calentamiento de agua con leña. En general, puede decirse que el mayor potencial de ahorro proviene del uso de los calentadores solares, y en el caso de calentadores de leña, éste se logra a través de su aislamiento.

Hasta la revolución industrial la leña era la principal fuente de calor de la humanidad. También se utiliza para la producción de carbón vegetal que luego fue usado para fundir los minerales metálicos y para trabajar el hierro y el acero. Una gran cantidad de árboles en el mundo han sido destruidos para obtener madera, astillas de madera (para pasta de papel), o leña. La pérdida de

árboles se traduce en problemas ambientales tales como: la erosión, aumento de inundaciones, la salinización del suelo y la eventual escasez de la madera, pulpa y leña.

Las principales dificultades para la penetración del gas LP en las comunidades rurales son la falta de carreteras accesibles para su distribución y la carencia de recursos económicos de la mayoría de los pobladores para adquirir tanques de almacenamiento y estufas de gas. Para facilitar el acceso del gas LP a los pobladores rurales de escasos recursos, es necesario incorporar al mercado tanques de gas más pequeños que puedan ser transportados con mayor facilidad, así como estufas de gas más accesibles (con dos quemadores y sin horno, por ejemplo); así mismo, para que la gente pueda adquirir estos recursos, es necesario que las compañías de gas y los gobiernos locales desarrollen programas de compra a crédito. En las figuras 44 y 45 podemos observar cómo se distribuye el consumo final por tipo de energético.

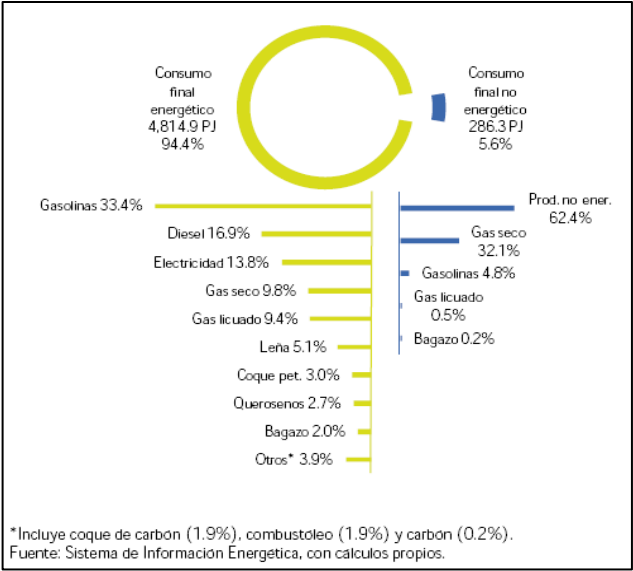


Fig. 44. Estructura del consumo final total por tipo de energético 2008. Fuente: Balance Nacional de Energía 2008

| Cuadro 12. Consumo final total de energía (petajoules) | | | | | |
|--|----------|----------|------------------------------------|-----------------------|--------|
| | 2007 | 2008 | Variación porcentual (%) 2008/2007 | Estructura porcentual | |
| | | | | 2007 % | 2008 % |
| Consumo final total | 4,830.59 | 5,101.23 | 5.6 | 100.0 | 100.0 |
| Consumo no energético total | 275.08 | 286.31 | 4.1 | 5.7 | 5.6 |
| Petroquímica de Pemex | 167.76 | 175.03 | 4.3 | 3.5 | 3.4 |
| Otras ramas | 107.32 | 111.28 | 3.7 | 2.2 | 2.2 |
| Consumo energético total | 4,555.51 | 4,814.92 | 5.7 | 94.3 | 94.4 |
| Residencial, comercial y público | 893.03 | 900.84 | 0.9 | 18.5 | 17.7 |
| Transporte | 2,158.90 | 2,427.54 | 12.4 | 44.7 | 47.6 |
| Agropecuaria | 134.05 | 144.75 | 8.0 | 2.8 | 2.8 |
| Industrial | 1,369.53 | 1,341.79 | -2.0 | 28.4 | 26.3 |

Fuente: Sistema de Información Energetica, Sener.
La suma de los parciales puede no coincidir con los totales debido al redondeo de las cifras.

Fig. 45. Consumo final total de energía (petajoules) Fuente: Balance Nacional de Energía 2008

Los actuales incrementos a los precios del gas natural y LP permiten que la tecnología utilizada para calentar agua mediante energía solar sea rentable, pues la recuperación de la inversión se logra entre 1.5 y 3 años; esto sin considerar el ahorro por la disminución de emisiones de CO₂. Existen en el mercado colectores solares, que oscilan entre 4 mil 800 y 12 mil pesos, equipos que permiten dar servicio al promedio de habitantes de las viviendas de interés social y la económica.

“Los recursos energéticos renovables en México, particularmente la energía solar, no han tenido la atención y consecuentemente el desarrollo suficiente como para poder reconocerlas como alternativas de uso generalizado; ya que en nuestro país se generan 45600 megavatios al año de los cuales 73.8 % corresponden a combustibles fósiles, 21 % a grandes hidroeléctricas, 3 % a energía nuclear, 2 % a geotermia y 1 % a energía eólica.

Esta situación revela una creciente dependencia hacia las fuentes energéticas no renovables como el petróleo cuya demanda se incrementó en los pasados 40 años de 58 a 80 %, mientras el potencial de energía solar en México es de 5 KV/hr, lo que nos ubica como una de las regiones terrestres con mayor capacidad de aprovechamiento de la energía solar” (Aguilar, Soto, 2006, pág. 2).

Por ejemplo, el combustible promedio necesario que entra a un calentador para un baño de regadera promedio es de 15 mil kilojoules. En términos energéticos convencionales, esto representa 0.32 metros cúbicos de gas natural o 0.42 kilogramos de gas LP. Considerando que el kilogramo de gas LP estaba en poco más de nueve pesos en noviembre pasado, bañarse cuesta alrededor de cuatro pesos. Considerando una familia integrada por 4 personas, el gasto anual asciende a 6 mil pesos. El costo de un calentador solar capaz de cubrir estos requisitos oscila entre 7 y 9 mil pesos. Lo anterior significa que la tasa de retorno es poco más de un año. La vida útil del calentador es de 15 a 20 años. Si se compara el costo de un regaderazo con gas LP, natural y con calentador solar, los precios varían.

Si bien la energía solar no cuesta, la compra del equipo sí, por lo que un baño con calentador solar equivale a un peso con 20 centavos, mientras que para el caso de gas natural es de 2.40 pesos y en LP de 3 pesos a precios de 2004

El aprovechamiento de la energía solar para obtener calor mediante colectores solares se ha venido usando principalmente para el calentamiento del agua, la cual ha tenido sus principales aplicaciones en el sector residencial y recreativo; últimamente, los sectores industriales, hoteleros y de edificaciones en donde se requiere agua caliente a no más de 70 °C, se han incrementado.

En la actualidad en México se dispone de Sistemas Termo solares tanto importados como nacionales, pero estos pueden ser contruidos y operados bajo asesoría técnica particular.

CAPITULO VI

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

CAPÍTULO VI

6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

6.1 SISTEMAS CONVENCIONALES DE CALEFACCIÓN.

La calefacción, es una forma de climatización que consiste en satisfacer el equilibrio térmico cuando existe una pérdida corporal de calor, disipada hacia el ambiente, mediante un aporte calórico que permite una temperatura ambiente confortable. Estos sistemas son destinados a climatizar mayormente en invierno, los ambientes interiores de los edificios, casas, locales comerciales, etc.

La misión de la calefacción es la de regular la pérdida de calor en el ser humano en épocas frías. Esto también requiere conocer otros factores que afectan el bienestar térmico, además de la ropa y la actividad realizada. La regulación de las condiciones ambientales dentro de una vivienda, industria o comercio, son procesos que implican sistemas de ventilación o calefacción. Un sistema de calefacción permite elevar la temperatura de determinado espacio en relación con la temperatura ambiental exterior para generar condiciones cómodas para la habitación de los seres humanos. Con este objetivo esencial de combatir el frío y permitir un grado elevado de calidad de vida se han desarrollado diversos sistemas de calefacción. Al momento de adoptar entre los diferentes sistemas de calefacción existentes es fundamental considerar ciertas variables para que los mismos resulten eficientes.

La zona geográfica donde está ubicada el espacio donde se va instalar el sistema de calefacción es la primera de las condiciones que se deben atender; si se halla en una zona climática fría se debe considerar la necesidad de un sistema de calefacción de flujo constante y en lo posible, con combustible de red o que cuente con depósitos.

Otra de las variables para la elección de un sistema de calefacción acorde al espacio es, obviamente, las dimensiones del mismo; los especialistas conocen de cálculos simples para determinar las necesidades exactas y la conveniencia de cada sistema por cada metro cuadrado a calefactar

Actualmente hay diversos sistemas de calefacción y se clasifican de la siguiente manera:

- Según la extensión:
 - Calefacción unitaria
 - Calefacción centralizada
 - Calefacción urbana
- Según la forma de calefactar:
 - Calefacción por agua
 - Calefacción por vapor
 - Calefacción eléctrica
 - Calefacción por aire
- Según el sistema utilizado:
 - Calefacción con radiadores
 - Calefacción por suelo radiante
 - Calefacción con bomba de calor (aire)

La Calefacción centralizada es un sistema de climatización que sirve a varios locales sean o no de una vivienda. Si todos los locales son de una única unidad de consumo (una vivienda, por ejemplo), se llamaría calefacción individual; si pertenecen a varias unidades de consumo (viviendas u oficinas) se llama calefacción colectiva. Suele utilizarse en edificios de viviendas.

El sistema de calefacción centralizada más común es el de agua caliente que emplea una caldera donde se calienta el agua y emisores del tipo radiador o de suelo radiante en los locales habitados, llevando el agua caliente por medio de una red de tuberías. También puede ser calefacción por vapor o mediante aire caliente.

Existen también sistemas de climatización que permiten la refrigeración en verano. Hay sistemas mediante conductos de aire frío o mediante agua. Los sistemas de aire pueden provocar condensaciones en el interior de los conductos y hongos

La principal característica de un sistema de calefacción central se basa en la uniformidad del calor; es decir, que los dispositivos encargados de climatizar la vivienda reparten aire caliente de manera uniforme en toda la dependencia. Este tipo de climatización se logra a través del uso del gas natural o del suelo radiante (el cual puede ser alimentado por energía solar o calderas).

Cuando el sistema de calefacción central sirve a varios edificios, sean de viviendas o de otros usos, como un barrio o un pueblo, se denomina calefacción urbana o de distrito.

6.1.1 La calefacción directa

Los aparatos de calefacción unitaria o directa son una buena alternativa para lograr un hogar cálido sin ningún tipo de obra. Además de ser rápidos, eficaces y sin ningún tipo de instalación. Dentro de este tipo de calefacción encontramos a los convectores, las placas radiantes, radiadores de aceite, radiadores de cuarzo y los turbo convectores. A continuación describiremos brevemente estos sistemas

Los convectores funcionan mediante una resistencia de baja temperatura que calienta el aire frío tomado por su parte inferior, distribuyéndolo por la superior y ofreciendo así un agradable ambiente. Algunas de las ventajas de estos sistemas de calefacción son:

- Es un sistema de calefacción directa que permite obtener al instante la temperatura deseada mediante un termostato que incorpora el aparato.
- No requiere obras de instalación.
- Son silenciosos y funcionan automáticamente.

El convector debe instalarse en la pared mediante soportes. Para su conexión es necesario disponer de una base de enchufe con toma de tierra lateral.

Las placas radiantes son envolturas metálicas lisas, con menos fondo que los convectores, que emiten la mayor parte del calor por radiación. Entre las ventajas de estos dispositivos encontramos:

- La temperatura del panel es tal, que las ondas radiantes se reparten uniformemente por la habitación, haciendo que la temperatura sea muy regular.
- Al igual que con los convectores, se puede obtener la temperatura deseada al instante, aunque son de mayor tamaño y precio que estos.

Otro dispositivo de calefacción muy usado es el radiador de aceite. También conocida como calefacción por emisores térmicos. En los radiadores de termo fluido la transmisión de calor se efectúa a través de un aceite térmico calentado por una resistencia eléctrica blindada de acero especial. La cesión de calor se efectúa en su mayor parte por convección natural. Algunas de las ventajas de este dispositivo son:

- Este aparato, al apagarlo, sigue irradiando calor por unas horas, por la resistencia que calienta el aceite que retiene el calor.
- A diferencia de los radiadores tradicionales centralizados por agua, el aceite no produce ninguna presión interna.

Dentro de los radiadores podemos encontrar los de cuarzo. Aparato equipado con elementos de calefacción de cuarzo que produce calor inmediato y a gran potencia. Es un dispositivo que permite la conexión permanente y su instalación es muy sencilla. Su principal ventaja es que la mayoría de los modelos se pueden girar para orientar el calor.

Otros sistemas de calefacción son los turbo convectores. Estos son aparatos de alto rendimiento con un ventilador incorporado en el interior del chasis, que permite que la circulación de aire sea más rápida que la de un aparato de convección natural. Son extraplanos y elegantes. Su principal ventaja es que funcionan con un mínimo consumo de energía, ya que reaccionan inmediatamente a cualquier pérdida o ganancia de temperatura de forma extremadamente sensible, incluso con una demanda mínima de calor.

6.1.2 Calefacción por agua caliente

Se trata de un sistema de calefacción en el que el calor se produce en una caldera situada en un local específico y el calor, por medio de un caloportador (generalmente agua), se distribuye a unos elementos terminales, generalmente radiadores o suelos radiantes, que emiten el calor a los ambientes que lo requieren.

La elección del agua como caloportador se debe a que es una sustancia barata, común en todas las edificaciones y, sobre todo, su calor específico es el mayor entre todas las sustancias conocidas, por lo que requiere un caudal menor que cualquier otra sustancia para transportar la misma cantidad de calor.

Aunque ya casi no se usa, también se utilizaba con frecuencia el vapor de agua como caloportador. Tiene la ventaja de que con él se puede llegar a mayores temperaturas y que circula mejor por los conductos, y se pueden poner elementos terminales (radiadores) más pequeños; pero también tiene el gran inconveniente de que la superficie de esos radiadores está a una temperatura elevada, que puede producir quemaduras por contacto.

En este sistema, al estar la caldera situada en otro local, a menudo específicamente destinado a ella, puede orearse libremente sin problemas para los locales calefactados. Al contrario, en los sistemas tradicionales (chimenea hogar) la combustión se hace en el propio local y el aire exterior, necesario para la combustión y que está frío, tiene que pasar por el local y enfría el ambiente que se quiere calentar.

Otra ventaja es que cuanto más grande sea la caldera (tenga mayor potencia) mejor es su rendimiento (relación entre la energía que aporta realmente y la que teóricamente puede aportar el combustible) por lo que, cuanto mayor sea la instalación servida por la caldera, mejor será su rendimiento. La caldera puede servir a un solo usuario (calefacción centralizada individual), a todo un edificio (calefacción centralizada colectiva) o a una barriada e incluso a una ciudad (calefacción urbana).

6.1.3 Calefacción por vapor

Es una variante de los sistemas de calefacción en el que el caloportador es agua en fase de vapor en lugar de agua en fase líquida. Su constitución es semejante a los sistemas de calefacción por agua caliente: la caldera lleva el agua a la temperatura de evaporación y el vapor recorre los emisores sin necesidad de bomba u otro artificio mecánico. Al enfriarse vuelve a la fase líquida y, condensado, el caloportador vuelve a la caldera por gravedad, para lo que la red de tuberías debe tener pendientes hacia ella. Por la misma razón las tuberías de ida suelen ser más gruesas que las de retorno. En los radiadores, en vez de purgar aire de su parte superior debe purgarse el agua condensada en su parte inferior.

Entre sus ventajas e inconvenientes se cuentan:

- Los emisores (radiadores) son de menor tamaño que en los sistemas de calefacción por agua.
- La regulación de la potencia no se puede hacer en el local de calderas (si se baja la temperatura no se produce vapor), por lo que deben hacerlo los usuarios en cada uno de los emisores, mediante la llave de paso.
- La temperatura superficial de los emisores es alta (superior a los 100 °C) por lo que se pueden producir quemaduras en la piel por contacto.

6.1.4 Calefacción con energía eléctrica

Sin lugar a dudas la calefacción eléctrica es una de las más empleadas por los seres humanos, esto se debe a que sus calefactores son accesibles y a que, si controlamos el consumo, resultan ser también muy económicos

Los sistemas de calefacción eléctrica se clasifican según su funcionamiento en tres categorías:

- calefacción por acumulación,
- calefacción directa
- calefacción de tipo mixta;

La primera es cuando el calor se origina y almacena durante un lapso de tiempo determinado para luego ser liberado en el ambiente. Los aparatos de esta gama son, entre otros, los acumuladores de calor cuyo funcionamiento fue diseñado para aprovechar la tarifa nocturna y así recaer en la ventaja del ahorro económico; su desventaja principal radica en el alto costo de su instalación pero posee un factor interesante, este calefactor trabaja mucho mejor cuanto más extremo es el clima al que está expuesto.

La calefacción eléctrica directa produce y emite un calor dentro del ambiente de manera simultánea; en esta categoría encontramos los sistemas de radiación por suelo y techo, los paneles radiantes, los convectores, las placas solares, los radiadores infrarrojos y los de aceite.

Por último los sistemas de calefacción eléctrica mixtos, estos equipos poseen un aparato de calefacción directa y otro de acumulación. Este tipo de calefacción nos permite desplazar a la noche entre un 40% y un 70% del consumo total de la misma, invirtiendo menos que al instalar un acumulador; resultan rentables para consumos medios por eso es muy común encontrarlos en lugares en donde el clima es templado. Entre las combinaciones más comunes tenemos: acumuladores de suelo y apoyo directo; y los acumuladores de calor combinados con los convectores.

6.1.5 Calefacción por aire acondicionado

Las ventajas que otorga este tipo de climatización son muy amplias, la más conocida es la que se vincula con su inversión; aunque es cierto que adquirir un aire acondicionado es mucho más costoso que un estufa eléctrica o ventilador, su uso se amortiza con el paso del tiempo y se obtienen las aplicaciones de dos artefactos en uno.

La calefacción por aire acondicionado convencional se lleva a cabo a través del uso de splits, normalmente necesitamos de dos unidades: una interna y otra externa, ambas conectadas entre sí a través de tubos de cobre.

Durante el invierno, la unidad interna obtiene el aire frío del ambiente y lo descarga en el exterior, mientras que el aparato que está dentro del espacio distribuye el aire caliente en la

misma; todo este sistema funciona correctamente gracias a la electricidad, fuente de energía que hace funcionar los splits. Sin embargo, la calefacción por aire acondicionado tiene una variante muy poco conocida, el sistema de evaporación, éste utiliza el agua como fundamento de la climatización, ahorrando así mucha más energía. En Europa se ha introducido este tipo de calefacción por aire acondicionado de evaporación en las casas de obra nueva; en los inmuebles ya construidos solo puede instalarse en viviendas unifamiliares debido a que se debe instalar un aparato en el techo y en los pisos, lo cual lo torna en un proceso complicado. Su función particular es renovar el aire caliente de toda la casa.

6.1.6 Sistemas de calefacción por aire

Cuando hacemos referencia a este modo de climatización podemos hablar de dos tipologías básicas: los sistemas de calefacción por aire acondicionado o los caloventores; poseen la misma función pero al mismo tiempo cuentan con varias diferencias.

Podemos decir que un caloventor es un pequeño artefacto o electrodoméstico destinado a proporcionar aire caliente, ustedes rápidamente asociarán esta aplicación con la de una consola de aire acondicionado de “frío-calor”, pero aunque el trabajo que realiza es similar, no es exactamente idéntico. La fuerza de un caloventor no se mide por calorías como sí se hace con un sistema de calefacción por aire, los primeros son pequeños y generalmente están destinados a pequeñas dependencias ya que no fueron diseñados para climatizar grandes ambientes. Este artefacto funciona a base de energía eléctrica pero no es un gran consumidor de la misma, su gran ventaja radica en que luego de estar prendido por un largo período, puede apagarse y el aire caliente se mantendrá dentro de habitación

Una consola de aire acondicionado no es un simple sistema de calefacción por aire o de refrigeración, su costo es mucho más elevado que el de un caloventor debido a sus variadas funciones; entre ellas la más popular es la des humidificación, manteniendo así el aire del ambiente potable y liviano, algo que no puede lograrse con un radiador o caldera. El proceso de tratamiento que realiza un sistema de calefacción por aire es más que complejo, permite modificar ciertas características del mismo, principalmente la temperatura y la humedad, pero también permite regular su pureza y movimiento aunque suene extraño. Los equipos actuales

tienen como función controlar las moléculas de aire para así poder bajar o subir la temperatura de éste generando así ambientes cálidos; los sistemas más modernos incluyen la función de “redirigir” la cual se encarga de distribuir el aire de forma homogénea por toda la casa, evitamos de esta forma las desagradables corrientes.

No existe un único sistema de calefacción por aire y esto es más que lógico ya que no todos los seres humanos habitamos en las mismas viviendas ni tenemos las mismas necesidades; los sistemas más comercializados actualmente son los splits, incluso por encima de los caloventores. Esta opción se ha vuelto la preferida por todos debido a la comodidad que brinda: no sólo contamos con una consola que refrigera en verano, sino que también climatiza en invierno; aunque la inversión inicial puede ser un poco elevada, se amortiza con el correr de los años.

Los sistemas splits están formados por dos unidades: la interna y la externa; la primera es la encargada de absorber el calor del ambiente para luego descargarlo hacia el exterior, mientras que la unidad externa es la que se encarga de convertir ese aire en uno de tipo fresco, limpio y puro. Estos equipos incorporan, lógicamente, una bomba de calor, es ésta la culpable del poder de calefacción que podamos brindar a nuestra casa.

Al científico Lord Kelvin es a quien le debemos los actuales sistemas de calefacción por aire como los de refrigeración, en 1842 descubrió que mediante un circuito frigorífico basado en la absorción se podía utilizar un gas para refrigerar y climatizar un ambiente

6.1.7 Calefacción a gas natural

La calefacción a gas, se divide en gasóleo, gas natural y gas propano. Dentro de todas las posibilidades, la calefacción a gas natural siempre ha predominado como una de las más eficientes, y es que su funcionamiento es básico y su mantenimiento casi nulo; además es conveniente aclarar, que los nuevos dispositivos cuentan con válvulas de seguridad por ende, ante una pérdida de gas

El sistema de calefacción a gas incluye habitualmente gas natural y es seguramente uno de los más empleados en los países subdesarrollados; a grandes rasgos podemos decir que este sistema

se basa en el uso de una caldera que calienta agua mediante la combustión de gas haciéndola circular por los radiadores. Algunas de las ventajas son: el calor que obtenemos es uniforme, es decir, el mismo se reparte por toda la vivienda; no hay que preocuparse por pedidos de suministro, el combustible no se almacena pudiendo provocar un accidente; la combustión que realiza el gas natural es limpia no como en otros sistemas. Y por último mencionamos el factor económico, ahorramos un gran consumo sin depender de determinados períodos de funcionamiento, como sí los necesitan los acumuladores eléctricos (tarifa nocturna).

La pieza central de un sistema de calefacción a gas es la caldera; es allí en donde se quema el gas utilizando el calor desprendido para calentar el agua por los radiadores de toda una casa. Las calderas se clasifican según sus prestaciones: tenemos las calderas mixtas, las mixtas por acumulación y las destinadas únicamente a proporcionar calefacción.

Las calderas de calefacción, como dijimos previamente, se destinan únicamente a climatizar un ambiente específico y por ende su única función es alimentar a los radiadores, en cambio, las calderas mixtas, están destinadas tanto a calefacción como a la producción de agua caliente lo que las vuelve más útiles aún; la única limitación que éste tipo de artefacto posee es que cuantos más grifos se abran de forma simultánea utilizando el agua caliente, menor será el caudal total disponible. Por último, las calderas mixtas por acumulación, al igual que en las anteriores, podemos obtener una excelente producción de agua caliente y calefacción de manera simultánea, pero su plus radica en un depósito de agua extra para no tener que padecer limitaciones a la hora de usar el agua caliente al mismo tiempo. La calefacción a gas natural puede dividirse en tiro natural o tiro forzado; en las primeras los gases que se expulsan a través de la chimenea deben ser correctamente despedidos para evitar que se acumulen en la estancia. Las calderas de tiro forzado incorporan ya un ventilador para expulsar dichos gases al exterior, dentro de ellas podemos encontrar un excelente sistema de estanqueidad lo que permite aislar a la vivienda de los productos generados por la combustión.

6.1.8 Calefacción radiante

La calefacción ha tomado ya tantas formas que para muchos de nosotros decidimos por un único modelo se nos hace muchas veces difícil, contamos con calderas, estufas a gas, eléctricas,

calefacción por aire acondicionado y muchas otras alternativas. Lo importante a la hora de optar por cualquiera de estos es establecer las necesidades de climatización que la vivienda posee; en los últimos años, esta rama del mercado ha demostrado una gran tendencia hacia la calefacción radiante.

Dentro de este tipo de climatización encontramos dos grupos definidos: los radiadores y el suelo radiante; los primeros pueden estar compuestos por uno o varios paneles mientras que el suelo radiante necesita de una obra mucho más compleja para su instalación.

Los radiadores se dividen en tres tipos, según su forma, los más habituales son los que están compuestos por diferentes módulos o elementos de acero. Años atrás la calefacción radiante por radiadores era bastante rústica debido a que los artefactos se fabricaban en acero fundido; su diseño recuerda al de un acordeón y sus medidas difieren debido a su diseño modular el cual nos permite añadir otros elementos de forma rápida

Actualmente la calefacción radiante por radiadores es muy común, la diferencia entre los radiadores de antes y de hoy radica en los materiales de construcción; se fabrican de acero pero de un material mucho más ligero y con un mejor coeficiente de transmisión de calor.

Dentro de la calefacción radiante existe una alternativa que es muy empelada por aquellos que desean un sistema de climatización eficiente y uniforme, nos referimos al suelo radiante; éste es un sistema basado en la instalación de un conjunto de tubos, ahogados en el piso de un espacio

En los sistemas radiantes se pueden utilizar paneles (serpentes) colocados en el techo o bien en el pavimento; los techos no suelen pasar de 45 °C y los pavimentos se mantienen corrientemente a 30 °C. El emplazamiento en el techo es más caro, pues se requiere más trabajo para su colocación. Los serpentes suelen situarse bajo el pavimento cuando las pérdidas de calor no son muy acusadas; por el contrario en otros edificios con rápidas variaciones en las pérdidas de calor (por ejemplo, un edificio de oficinas,) responderá mejor la instalación situada en el techo. En los sistemas radiantes, dentro de las habitaciones, la temperatura está mejor distribuida que en los demás sistemas de calefacción, lo cual da como resultado una mayor sensación de bienestar y un mayor grado de

humedad relativa. Si bien los gastos de instalación suelen ser algo más altos que en el sistema de emisores, los gastos de mantenimiento pueden ser más bajos al reducirse las pérdidas del calor absorbido por los elementos estructurales o morfológicos del edificio.

El sistema de piso radiante consiste en convertir todo el suelo en un gran panel emisor de calor (25 °C a 29 °C) radiante a baja temperatura. Un elemento calefactor integrado bajo el pavimento, sirve como fuente de calor perfectamente controlado por un termostato de ambiente que mantiene la temperatura que previamente se haya seleccionado en el mismo.

La radiación emitida por este panel incide sobre los cuerpos sólidos (paredes, techos, suelos, muebles, personas, etc.) aumentando su temperatura. El aire, al ser permeable a la radiación, adquiere temperatura por contacto con los cuerpos sólidos que previamente se han calentado. Para un mayor nivel de confort, tiene mayor importancia la temperatura de estos cuerpos que la del aire ambiente. Por otra parte, la temperatura moderada del aire afecta menos a la humedad relativa, que es un factor importante de bienestar. Además al coincidir prácticamente la superficie radiante con la de la estancia, la uniformidad de temperatura es perfecta. La calefacción por suelo radiante es el sistema que alcanza mayores cotas de confort y bienestar.

La calefacción radiante puede ser eléctrica (cables o folios calefactores) o por agua; en el caso de la calefacción eléctrica la energía se usa de forma más racional, es decir, por acumulación natural

Dadas sus características y alto grado de eficiencia, las ventajas son importantes:

- No ocupa espacio útil
- No hay radiadores, ni tubos, ni aparatos que ocupen espacio.
- No existen depósitos para combustible.
- No necesita sala de calderas.
- No necesita espacio para chimeneas.

En cuanto a la seguridad encontramos 2 puntos importantes que son:

- Seguridad máxima al no utilizar productos tóxicos ni inflamables, ni consume oxígeno.

- Es un sistema de alta seguridad al incorporar termostatos, limitadores de temperatura y equipos de protección eléctrica (puesta a tierra, diferenciales y fusibles magneto-térmicos).

Además tiene la posibilidad de mantener, en diferentes estancias, temperaturas seleccionadas según la necesidad, lo cual conlleva a un reparto uniforme de temperatura en la misma estancia. Debido a la amplia gama de termostatos y programadores que se pueden utilizar, el sistema permite unas automatizaciones y programaciones muy ajustadas y sensibles.

Por otro lado la calefacción por suelo radiante de agua consiste en la instalación de un tubo de polipropileno sobre aislamiento de alta densidad, empotrado en la capa de mortero del pavimento, ocupando toda la superficie de la estancia a calefactar y utiliza agua como elemento transmisor del calor. El agua, previamente calentada con cualquier fuente de energía, (gas, gasoleo, bomba de calor, energía solar, etc.) cede calor al suelo y éste, a su vez, lo transmite por contacto al aire ambiente. Las principales ventajas son:

- Estética
- Seguridad
- Distribución uniforme
- Es limpio
- Confortable

Cuando se utiliza una bomba de calor reversible, este sistema tiene la ventaja de poder enfriar el agua circulante y absorber calor del ambiente, lo que lo hace especialmente práctico en zonas climáticas donde el "calor" sea un elemento a combatir durante el verano

El suelo radiante es un método viejo de calefacción radiante sólo que ha sido modernizado con el correr de los años. La instalación puede llevarse a cabo tanto en el suelo como en el techo o las paredes, su gran desventaja radica en que necesita de una gran obra y por eso solo se recomienda si se va a realizar una reforma integral de la casa.

El costo se amortiza con el paso del tiempo ya que nos ahorramos entre un 20 % y 30 % de consumo energético; además, nos brinda un calor mucho más natural y, debido a que está situado en las paredes, suelo o techo, no altera la visión estética del lugar.

6.2 SISTEMAS PASIVOS DE CALEFACCIÓN

Los sistemas solares pasivos son equipos de almacenamiento de la energía directa y sistemas de transferencia, no necesitan bombas eléctricas ni ventiladores de soplado para la transferencia de fluidos de trabajo de los sistemas de calefacción o de enfriamiento. Los sistemas pasivos se basan principalmente en la convección natural y en la radiación. Los rayos solares calientan una masa dentro de la estructura.

El término pasivo se usa ampliamente en la industria para definir un sistema de calefacción o de enfriamiento en el que la energía fluye por medios completamente naturales. Al igual que se puede utilizar la energía solar para calentar agua, también puedes utilizarla para calentar el aire y, de esta forma, calentar a las vivienda.

En general, las calefacciones solares pueden proporcionar del 40 % al 60 % de tus necesidades de calefacción. Estos sistemas son más rentables para consumidores que utilizan calefacción eléctrica, aunque también puede ser rentable para los usuarios de otros tipos de calefacción. La instalación de calefacción solar depende de varios factores, como el tamaño de tu casa, su aislamiento, la cantidad de calor que se generará con un sistema de apoyo, el sistema que elijas y el sitio.

Los sistemas solares pasivos se utilizan principalmente para captar y acumular el calor proveniente de la energía solar. Se les llama pasivos ya que no se utilizan otros dispositivos electromecánicos (bombas recirculadoras, ventiladores, etc.) para recolectar el calor. Esto sucede por principios físicos básicos como la conducción, radiación y convección del calor.

Los sistemas de calefacción solar pasiva, como indica su nombre, se caracterizan por el aprovechamiento de la energía que nos proporciona de manera regular el sol. Se trata de un recurso prácticamente inagotable, por lo menos en nuestra escala temporal, y lo más importante,

absolutamente gratuito. Numerosas culturas lo han aprovechado de manera intuitiva desde hace milenios.

Estos sistemas son útiles en los lugares que presentan temperaturas bajas durante todo el año o parte de él, pero sólo son realmente eficientes si se cuenta con el número adecuado de horas de sol al día y si la radiación es suficientemente intensa. Aunque no siempre es así, podemos afirmar que su aplicación más efectiva se da en las latitudes medias, es decir, aproximadamente entre los paralelos 15° y 60°, tanto en el hemisferio norte como en el sur. En las latitudes menores a 15° se suelen presentar temperaturas elevadas durante todo el año (climas tropicales), por lo que el calentamiento no solo no es necesario sino que casi siempre es contraproducente. Por otro lado, en las latitudes mayores a 60° se suele tener muy pocas horas de sol y la intensidad de la radiación es muy baja, por lo que su aprovechamiento no suele ser factible. En esos sitios por lo general la única estrategia redituable es un elevado aislamiento para mantener en los espacios habitables la mayor parte del calor generado dentro de ellos (aporte de calor de las personas, estufas y aparatos eléctricos, entre otros factores).

Por otro lado, la eficiencia de los sistemas de calefacción solar pasiva también depende de las estrategias asumidas para evitar las pérdidas de calor, como el aislamiento de la envolvente, el empleo de ventanas eficientes y el uso de sistemas constructivos que reduzcan los puentes térmicos y las infiltraciones, entre otras. De poco sirve captar grandes cantidades de calor por radiación solar si dicho calor se pierden fácilmente cuando se dejan de captar.

Es posible clasificar los sistemas de calefacción solar pasiva de acuerdo a los procesos involucrados en la captación de calor y la forma en que éste es suministrado a los espacios habitables. Existen dos principales formas de captar el calor, una es por medio de los sistemas de ganancia directa y por medio de los sistemas de ganancia indirecta.

Los sistemas de ganancias directas son aquellos que permiten el ingreso de la radiación solar, mediante superficies acristaladas, a los espacios habitables o a espacios que se usan de manera esporádica pero que que almacenan y desprenden la energía térmica almacenada lentamente. Hay que tener cuidado de no sobrecalentar el espacio.

En cuanto a los sistemas de ganancias indirectas encontramos que son aquellos que convierten la radiación solar en calor mediante su absorción en superficies externas a los espacios habitables. En otras palabras, la radiación solar no ingresa a los espacios. “Hay tres problemas principales de la calefacción solar: captación del calor; almacenamiento del calor y transporte del calor.” (Sabady, 1986, pág. 32)

A continuación describiremos algunos de los sistemas de calefacción solar pasiva

Muro de acumulación no ventilado: también conocido como Muro Trombe, es un muro construido en piedra, ladrillos, hormigón o hasta agua pintado de negro o de un color muy oscuro en la cara exterior. Para mejorar la captación se aprovecha una propiedad del vidrio que es la de generar un efecto invernadero, en el cual la luz visible, atraviesa el vidrio y al llegar el muro lo calienta emitiéndose en este proceso una cantidad de radiación infrarroja que es contenida por el vidrio. Por este motivo se eleva la temperatura de la cámara de aire existente entre el muro y el vidrio.

Muro de acumulación ventilado: similar al anterior pero incorpora orificios en la parte superior e inferior para facilitar la transferencia de calor entre el muro y el ambiente mediante convección que se suma al aporte por radiación.

Invernadero adosado: consisten en recintos acristalados cerrados construidos en la cara sur (para el hemisferio norte y norte para el hemisferio sur) del edificio. Dependiendo del clima y del uso a que se le destine, puede haber un muro de separación con la parte habitada del edificio u otro tipo de almacenamiento. Sirve para estabilizar la temperatura tanto en el invernadero como en la vivienda. En algunos casos el invernadero se utiliza para dar un precalentamiento al aire que penetra en el interior del edificio. La temperatura en su interior puede sufrir grandes variaciones entre el día y la noche, por eso no es muy útil como vivienda, si no se utiliza un control adecuado que puede consistir en unas simples persianas para el período nocturno o la utilización de un calentamiento auxiliar.

Los invernaderos pueden adoptar una amplia gama de formas geométricas, con las cuatro paredes acristaladas (incluyendo el techo), o bien las laterales opacas. Con el fin de aprovechar la energía calorífica acumulada en el invernadero o galería, se pueden instalar ventiladores que impulsen el aire hasta el interior de la vivienda. Las ventajas del uso de los invernaderos y galerías acristaladas, reside en que el clima de las viviendas mejora sensiblemente situando un recinto compensador entre el espacio habitado y el exterior. Puede ocupar la totalidad o solo parte de la fachada sur del edificio, tanto en altura como anchura, con lo que reduce la parte de la obra y las pérdidas por ventilación. Entre los inconvenientes se pueden ver los problemas de sobrecalentamiento que se pueden presentar en verano, las grandes oscilaciones que experimenta su temperatura interior y el costo de su construcción que suele ser superior a las ganancias energéticas que proporciona, si no se compensan con otras utilidades, tales como estancias en ciertos períodos del año.

En ciertas latitudes es posible usar la superficie del techo para captar y acumular la energía del sol. Estos sistemas también son conocidos como estanques solares y requieren de complejos dispositivos móviles para evitar que se escape el calor durante la noche.

En casi todos los casos anteriormente mencionados se les puede utilizar como sistemas de refrescamiento pasivo invirtiendo el sentido de funcionamiento. Estos son solo algunos ejemplos de los sistemas de calentamiento solar pasivo, existen muchos más, o combinaciones entre dispositivos, los cuales nos ayudan a mantener mejores condiciones de confort dentro de los espacios.

6.3 SISTEMAS ACTIVOS DE CALEFACCIÓN

Las instalaciones de calefacción solar activas son una combinación de colectores, que absorben y recogen la radiación solar, y ventiladores eléctricos o bombas para transferir y distribuir el calor solar. Se les llaman sistemas activos a los artefactos mecánicos que complementan la construcción bioclimática y permiten captar las energías del entorno con un mayor aprovechamiento y un mínimo consumo energético. Las instalaciones de calefacción solar activas

generalmente también tienen un sistema de almacenamiento de energía para proporcionar calor cuando no hay sol o se agota el calor almacenado.

Los dos tipos básicos de calefacción solar activa utilizan líquido o aire como medio de transferir el calor de sus colectores de energía solar:

Hay dos tipos básicos de sistemas activos de calefacción solar en función del tipo de líquido - líquido o aire - que se calienta en los colectores de energía solar. Un sistema de base líquida o una solución anticongelante es un sistema "hidrónico", mientras que los sistemas basados en calor aire-aire son sistemas de colector de aire .

Estos dos sistemas de recogida y absorción de la radiación solar, transfieren el calor solar directamente al espacio interior o a un sistema de almacenamiento, desde donde se distribuye el calor. Si el sistema no puede proporcionar calefacción adecuada, un auxiliar o de respaldo del sistema proporciona el calor adicional. En los sistemas líquidos es más a menudo que se incluya el almacenamiento, por ejemplo para los sistemas de calefacción radiante , calderas con radiadores de agua caliente, e incluso las bombas de calor de absorción y de los refrigeradores.

Los sistemas activos de calefacción solar son más costo-efectivos cuando se utilizan para la mayor parte del año, es decir, en climas fríos con buenos recursos solares. Son más económicos si se están desplazando a los combustibles para calefacción más caros, como la electricidad, el propano y el aceite

Un sistema activo retribuye en el costo-beneficio si el sistema de calefacción también calienta el agua doméstica, debido a que un colector inactivo puede calentar el agua en el verano.

Calefactar con un sistema de energía solar activa puede reducir significativamente sus cuentas de combustible en el invierno. Un sistema de calefacción solar también reducirá la cantidad de contaminación atmosférica y los gases de efecto invernadero que resulten de su uso de combustibles fósiles como el petróleo, propano y gas natural para calefacción

Hay tres principales desventajas de la calefacción solar activa, la primera es que los costos iniciales son altos. La segunda desventaja de la calefacción solar activa es que el uso de un sistema de calefacción solar activa se limita a su ubicación, la tercera desventaja más importante de la calefacción solar activa es que los colectores solares sólo pueden requerir grandes extensiones, por lo que se dificulta su ubicación en algunos casos

6.4 SISTEMAS HIDRÓNICOS DE CALEFACCIÓN EN EL MERCADO MEXICANO

En la naturaleza existen tres formas de transferir el calor de un cuerpo a otro y son conducción, convección y radiación, en la medida que se dominen estas formas de transferencia de calor se dominara el tema de la calefacción. En el mercado existen muchas variantes de sistemas de calefacción, todas ofrecen ventajas es por ello que permanecen en el mercado, pero hay características inherentes que se deberán tomar en cuenta para elegir la más idónea de acuerdo al lugar (ubicación geográfica), servicios municipales, personal técnico, avance de obra etc. Las variantes de calefacción más comunes son de tipo hidrónico en las cuales están: piso radiante (piso convectivo), zoclo convector, radiadores (convectores), unidades calefactores, otras opciones muy conocidas son la calefacción por aire y la calefacción eléctrica.

A excepción de la calefacción por rayos infrarrojos, los demás sistemas utilizan casi en su totalidad los principios de convección y la radiación solo en mínimos porcentajes, hoy en día la calefacción hidrónica es el mejor sistema de calefacción ambiental. Este sistema de calefacción funciona a base de agua caliente circulante a través de tres tipos de elementos que pueden ser:

- Calefacción por Zoclos Radiantes
- Radiadores de Aluminio
- Calefacción por Piso Radiante

En la calefacción radiante el agua caliente es generada por una caldera, especialmente diseñada para estos sistemas, la cual tiene integrada en su interior una pequeña bomba que mueve el agua de ida y vuelta en forma de circuito cerrado.

El agua circula a 70 °C a través de dichos elementos calefactores cediendo ésta temperatura al ambiente de manera gradual silenciosa y uniforme

La calefacción hidrónica se controla por medio de termostatos instalados estratégicamente en las zonas a calefactar por lo que el usuario solo calienta lo que necesita evitando un gasto innecesario de energía.

En el mercado mexicano existe una gran variedad de sistemas hidrónicos de calefacción, así como también innumerables empresas dedicadas a la venta e instalación de estos sistemas, como se mencionó anteriormente los principales sistemas son: el zocalo radiante, los radiadores, y la calefacción por piso radiante. Por ejemplo la empresa “Termoeléctrica Industrial” nos ofrece estos tres sistemas, su funcionamiento se basa en el calentamiento de agua a través de un calentador central haciendo recircular el agua caliente por zocalo térmico, radiadores térmicos o piso radiante, dependiendo del sistema a utilizar. Otra empresa que nos ofrece estos sistemas es Hidro Bec, la cual tiene la misma base de funcionamiento en sus sistemas de calefacción. Entre otras empresas encontramos a: Hidrotermica, RADIANT, CIROCO S.R.L, CALEFACCION Y CALDERAS TEC, entre otras. Sin embargo aunque la calefacción hidrónica es una de las más eficientes sigue teniendo un gran consumo energético debido a que su fuente de alimentación es por medio de calderas o calentadores de agua que tienen como principal fuente de energía al gas. Debido a esto algunas empresas como: Enersur. SOLAR PLAN México, INDISECT, SAECSA energía solar, entre otras, han comenzado a incursionar en el mercado mexicano con sistemas hidrónicos alimentados por energía solar, lo cual constituye un gran ahorro energético para la climatización de los espacios. La calefacción solar hidrónica se logra calentando agua a 60 °C para almacenarla en un termotanque y circularla por una serie de serpentines de plástico o cobre en las losas de los pisos a unos 40 °C. También se pueden instalar radiadores metálicos en las paredes o techos los cuales irradian calor a las habitaciones. El sistema solar se puede apoyar en calentadores de paso para cubrir la demanda de calefacción en periodos invernales muy nublados o de gran demanda de calefacción

Dentro de la calefacción hidrónica la que mejor se adapta a la energía solar es la calefacción por piso radiante, este es el sistema más moderno y eficiente que existe de calefacción a base de agua

caliente (Hidrónica). Este proporciona una temperatura agradable y uniforme dentro de todo el espacio a calefactar. En este sistema de calefacción el calor emerge del piso al techo, por tal razón se queda entre las personas y no en los techos de las habitaciones (fig. 46).

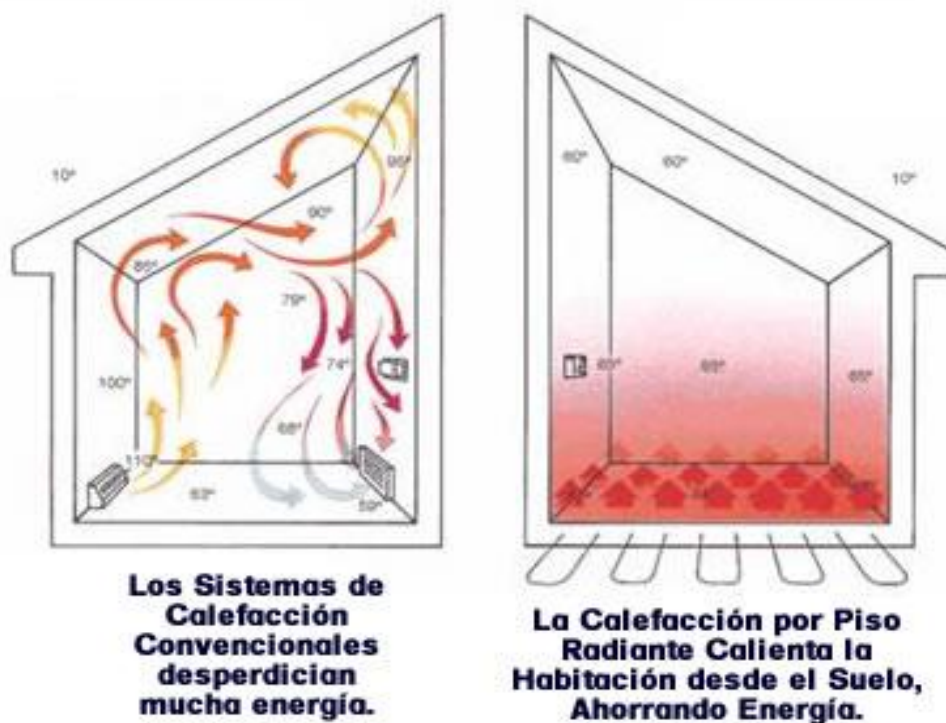


Fig. 46. Distribución global del potencial de conversión térmico solar mediante colectores solares Fuente: <http://www.calderascalefaccionycalentadoressolares.com.mx/calefaccion-hidronica-de-piso-radiante.html>

La distribución de calor que se logra a través de un sistema de suelo radiante, es casi un sistema de calefacción ideal. Trabaja circulando agua caliente a través de una tubería de polietileno reticulado instalada y distribuida en el piso en forma de circuitos cerrados, los cuales irradian calor suavemente a todo el espacio.

Como hemos visto la calefacción hidrónica solar en especial la de piso radiante resulta ser una de las más eficientes y de las que mejor se adaptan a la energía solar, sin embargo, estos sistemas resultan ser muy costosos ya que su instalación implica hacerse desde la etapa constructiva del proyecto aumentando así el costo de la construcción. Un parámetro del precio de este sistema nos

lo da la empresa SAECSA, la cual nos da un costo de \$ 98. 925 por cada 50 m², esto implica una gran inversión adicional al costo total de la vivienda, sin embargo, esto resulta ser una buena inversión a largo plazo, ya que el costo se ve amortizado por el ahorro energético que tiene dicho sistema en comparación con un sistema convencional de calefacción

6.5 CALEFACCIÓN POR PISO RADIANTE

El suelo radiante es un sistema de distribución del calor mediante agua caliente distribuida por tuberías enterradas en el suelo de la vivienda, adaptable a cualquier fuente de energía. Los sistemas de suelo radiante funcionan con cualquier elemento de producción de calor, como calderas de gas, bomba de calor, acumuladores eléctricos y sistema de colectores de placas solares. Asimismo, están diseñados con la premisa de facilidad de colocación, con un número de componentes muy reducido, larga duración y mínimo nivel de mantenimiento. También es necesario resaltar que el uso del sistema de suelo radiante es compatible con otro tipo de sistemas de calefacción dentro de una vivienda o edificio.

”Los primeros vestigios de sistemas por superficies radiantes datan desde hace unos 3,000 años, fueron los romanos en el siglo I a.d.C. los que importaron esta técnica de la actual Turquía (Anatolia), dotando a sus termas de pavimentos calientes. En la península ibérica, sobre todo en Castilla, existen viviendas con estancias llamadas <<glorias>>, las cuales se caldeaban, y hoy todavía lo hacen, utilizando la misma técnica del llamado <<hipocausto>> romano. Esta se basa en la circulación de los gases calientes, producto de la combustión de un hogar situado a un nivel inferior al de la zona a calefactar, por canalizaciones debajo del pavimento” (Ortega, 2001, pág. 19)

En la actualidad los sistemas modernos de calefacción por superficies radiantes se basan en una instalación que consta de un serpentín de tubos de polietileno reticulado ahogado en suelo, losa, o muro del espacio a calefactar. En una instalación de suelo radiante, el tubo transportador de agua irradia calor a través del suelo, calentando a las personas y el aire que hay en la habitación, consiguiendo las mejores condiciones de confort.

El calor se mantiene en la parte baja, y no en el techo. El suelo radiante es confortable incluso en los lugares que tradicionalmente suelen estar fríos con los métodos convencionales, ya que al estar instalado debajo del suelo de toda la estancia, el calor y la transmisión de éste, es uniforme. Los tubos se colocan de 3 a 5 cm, por debajo de la superficie, con una separación de 10 a 30 cm, entre ellos. Haciendo circular por los tubos agua entre 35 y 45 °C, el suelo se mantiene entre 20 y 28 °C y el ambiente entre 18 y 22 °C. El grado de confort que se consigue con este tipo de calor es ideal; con los sistemas tradicionales quemamos combustible a temperaturas superiores a 800°C para calentar agua a 70 u 80 °C y mantener la casa a 20 °C.

La temperatura del agua que circula por los tubos está comprendida entre 35 y 45 °C; la superficie del suelo se mantiene entre 20 y 28 °C y el ambiente entre 18 y 22 °C.

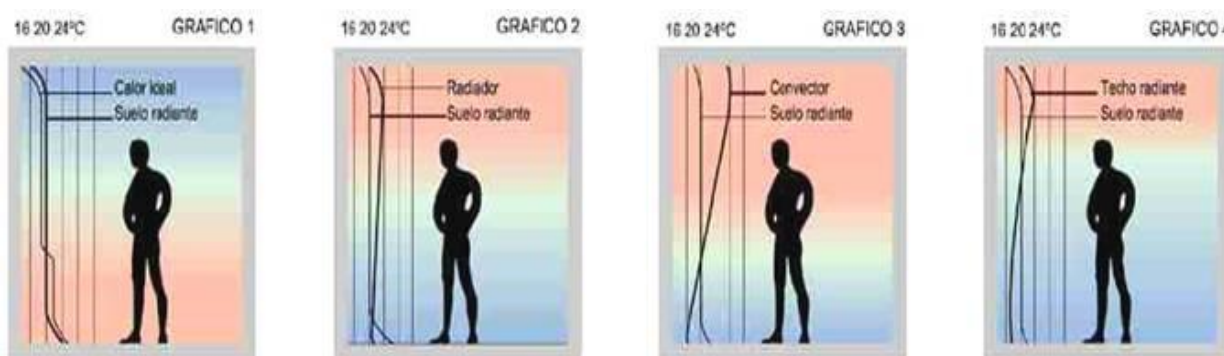


Fig. 47. Muestra el comportamiento de la curva de calefacción del suelo radiante contra otros sistemas de calefacción. Fuente: <http://www.confener.com/servicios/sradiante>

El sistema de piso radiante consiste básicamente en tubería plástica instalada bajo los pisos, a través de la cual circula agua caliente a baja temperatura que varía entre 25 y 45 °C en función de la temperatura exterior, transfiriendo calor a los pisos de manera uniforme y controlada, convirtiéndolos en enormes radiadores de calor de baja temperatura que envuelven a las personas en un ambiente cálido y confortable de pies a cabeza.

La temperatura del piso es controlada por sensores de temperatura que lo mantienen entre 25 y 26 °C, así como también limitan su temperatura máxima a 29 °C. La temperatura de cada habitación se controla de forma independiente, brindando un mayor confort y permitiendo el ahorro de energía en las áreas desocupadas de la casa.

Con este sistema de calefacción por piso radiante el calor se queda donde se necesita, es decir a nivel de las personas y no en los techos de las habitaciones, por lo que el requerimiento de energía es menor que con otro tipo de sistemas

El piso irradia calor a las personas y objetos dentro de la habitación y estos a su vez calientan el aire circundante (fig. 48)

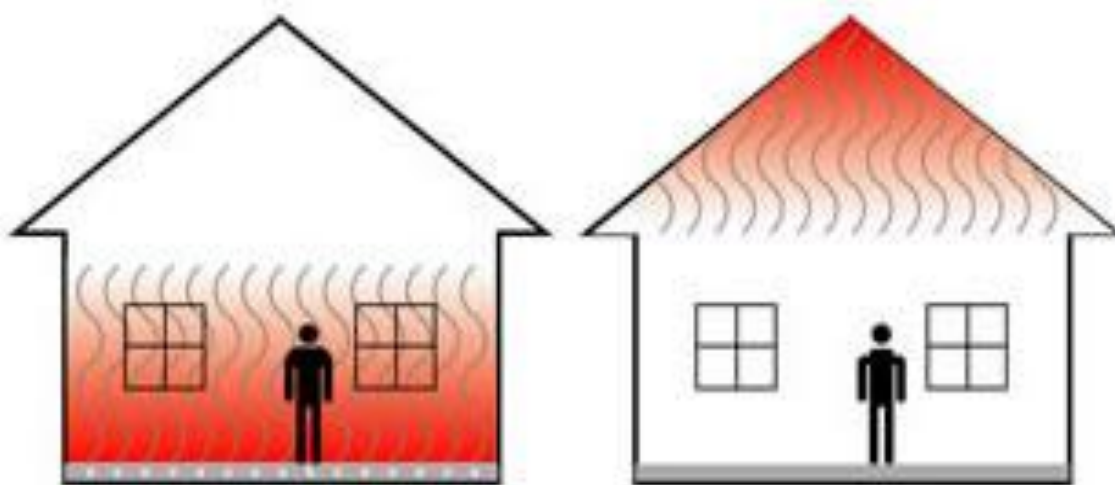


Fig. 48. Muestra el comportamiento del suelo radiante dentro de un espacio y la uniformidad que este logra. Fuente: <http://www.confener.com/servicios/sradiante>

De los sistemas de calefacción existentes en el mercado, el piso radiante es el que más se aproxima a la curva ideal de confort, por lo que la temperatura ambiente es prácticamente uniforme de pies a cabeza (fig. 48), gracias a sus características, no genera corrientes de aire, resequedad en el ambiente ni estratificación de temperaturas. Además, el sistema de piso radiante tiene la particularidad de que los pisos adquieren una temperatura muy agradable al tacto, por lo que andar descalzo es un placer. Es un sistema silencioso ya que no se emplean fuentes de ruido dentro de las habitaciones. Es invisible a la vista debido a que el sistema se encuentra totalmente oculto bajo los pisos, por lo que no interfiere con la decoración.

Como se puede observar, la curva de calefacción por suelo radiante, es la que más se aproxima a la curva de la calefacción ideal, en bienestar y confort (fig. 49).

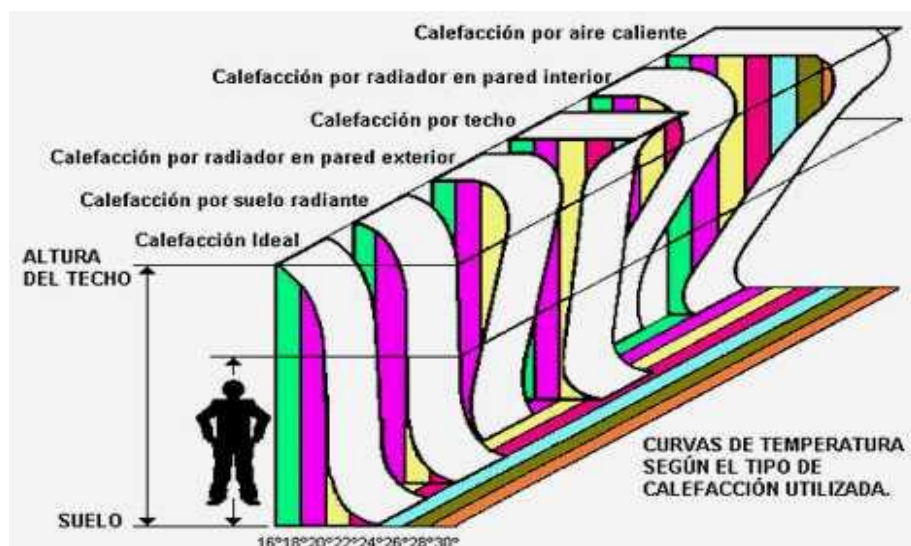


Fig. 49. Muestra el comportamiento del suelo radiante dentro de un espacio y la uniformidad que este logra. Fuente: <http://www.confener.com/servicios/sradiante>

Una ventaja muy importante para la salud, es que no reseca el aire. Al no calentar el aire sino los materiales y objetos, no se pierde la humedad natural del ambiente, evitándose con ello los molestos problemas respiratorios invernales causados por las calefacciones tradicionales.

Las pérdidas de calor que se originan en el techo, en la aireación de los locales o por la conducción del fluido caloportador a través de las tuberías generales, son muy inferiores a otros sistemas de calefacción, evitando con ello un mayor gasto de energía.

Es el único sistema que mantiene una temperatura uniforme, ya que la fuente de calor es toda la superficie del suelo, manteniéndose en todo el espacio una temperatura de confort agradable. También disminuye la cantidad de polvo suspendido en el aire y de microorganismos en el medio ambiente, evita las manchas negras en las paredes, así como posibles fuentes de alergia. Esto es debido a que el suelo radiante brinda confort a baja velocidad de aire (1,5 m/s), porque calienta por radiación sin levantar polvo ni microorganismos; no seca el aire ni las mucosas nasales, y mantiene los pies calientes mientras se respira aire fresco. Además permite un mejor aprovechamiento y diseño del espacio interior, al no tener elementos visibles, y es por esto que se le llama calefacción invisible. Al calefactar mediante otros sistemas, la temperatura de las zonas

elevadas del local es mayor (temperatura no sentida por el usuario). Esto origina un desperdicio de la energía y con ello un aumento de la factura de combustible. Otro importante factor de ahorro energético lo constituye la disminución de pérdidas de calor en caldera y en las conducciones debido a la menor temperatura del agua de impulsión y retorno.

Al no existir aparatos de calefacción en la casa (radiadores, fan-coils, etc.) la estética resulta beneficiada, pudiendo aprovechar toda la superficie de las dependencias. Es un sistema de calefacción que ofrece una total libertad de decoración de interiores. En conclusión el suelo radiante es competitivo frente a otros sistemas, considerando: la seguridad y larga duración, el ahorro energético y el mayor grado de confort obtenido.

CAPITULO VII

LA CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR POR
PISO RADIANTE CÁLCULO Y COMPONENTES

CAPÍTULO VII

7 LA CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR POR PISO RADIANTE CÁLCULO Y COMPONENTES

7.1 CÁLCULO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR PISO RADIANTE

7.1.1 Balance energético del edificio

El balance energético de un edificio está determinado por las entradas y salidas de energía. “Las pérdidas están referidas a los intercambios de calor a través de los materiales que envuelven el volumen interior de las edificaciones, que son las llamadas pérdidas por transmisión a través de los cerramientos P_{TR} y las referidas a los intercambios por infiltraciones y renovaciones de aire interior caliente con aire exterior más frío, que son las pérdidas por renovación del aire P_g ” (Ortega, 2001, pág. 89).

$$P = P_{TR} + P_g \dots \dots \dots (4)$$

Las pérdidas por transmisión las podemos dividir en dos tipos, las que se producen a través de los materiales opacos P_o y las que se producen a través de materiales transparentes o traslucidos P_v como ventanas, domos, lucernarios etc.

$$P_{TR} = P_o + P_v \dots \dots \dots (5)$$

Las ganancias pueden ser externas, esencialmente ganancias solares G_s y ganancias internas G_i , debido a la iluminación, aparatos eléctricos, personas o cualquier otro elemento emisor de energía que se encuentre en el interior del espacio.

$$G = G_s + G_i \dots \dots \dots (6)$$

Del mismo modo las ganancias solares son de dos tipos, las que son debido a la incidencia de la radiación solar sobre materiales opacos de las fachadas y techos G_o , las cuales elevan la temperatura de sus superficies y que posteriormente van a transmitir este calor al espacio interior de la edificación y las ganancias solares por superficies acristaladas o traslucidas G_v .

$$G_s = G_o + G_v \dots \dots \dots (7)$$

Tomando en cuenta las entradas y salidas de energía podemos realizar un balance térmico de un espacio el cual nos indicara si hay pérdidas o ganancias de energía en un momento determinado,

para realizar un cálculo de calefacción o cálculo de la carga térmica es necesario determinar las pérdidas de energía en el momento más crítico

La expresión de cálculo de la carga térmica de una estancia sigue la siguiente expresión:

$$Q = Qc + Qv + Qi + Qs \dots \dots \dots (8)$$

Dónde:

Q : Carga térmica de calefacción [W]

Qc : Ganancia o pérdidas por conducción [W]

Qv : Ganancia o pérdidas por ventilación [W]

Qi : Ganancia interna de calor [W]

Qs: Ganancias solares [W]

El balance térmico de invierno es un procedimiento que sirve para conocer cuál es la cantidad de calor que debe introducirse en un local, ambiente interior o sitio cerrado para compensar las pérdidas de calor que se generan a través de la envolvente (techos, muros, pisos, vidriados, infiltraciones), manteniendo una determinada temperatura de confort. Así la demanda de calor generada por las pérdidas de este a través de la envolvente de un local la llamaremos pérdidas totales y será la sumatoria de todas las pérdidas parciales por techos, muros, pisos, vidriados e infiltraciones debidas a rendijas y orificios en la envolvente.

Es importante conocer a cuánto ascienden las pérdidas totales de calor porque nos permitirá el dimensionamiento del sistema de calefacción. En el balance térmico de invierno clásico solamente se tienen en cuenta en la ecuación de balance las pérdidas de calor del local y se descartan los aportes generados por el sol, por las personas y el equipamiento, por la actividad que generan estas personas y la carga térmica total surge de una diferencia de temperatura fija entre el interior y el ambiente exterior para una condición de diseño extrema. Esto permite asegurar al calculista que aún en las peores condiciones (interior del local vacío y sin actividad) el ambiente interior debe encontrarse en confort. Por otra parte un balance térmico de invierno busca minimizar el uso de energías convencionales y aprovechar todo aporte de calor externo o interno disponible. Con esto se logran equipos de menor potencia, ahorro en

materiales, ahorro de energía, reducción de emisiones, y todo esto tiende a un edificio un poco más sustentable.

Al comenzar a calcular una instalación de calefacción, es necesario reunir previamente los siguientes datos:

- Planos del local: planta, sección y fachadas.
- Tipo de construcción, sección de paredes, suelos y techos.
- Tipos y características de cerramientos: ventanas, puertas, domos, etcétera.
- Uso del local. Condiciones interiores: temperatura y humedad en invierno.
- Condiciones interiores de los locales contiguos.
- Condiciones exteriores de base: temperatura y humedad en invierno.
- Grado de tolerancia para la temperatura y humedad interiores.
- Tipo de combustible deseado para la calefacción.
- Temperatura del agua disponible y caudal.
- Renovaciones de aire necesarias.

También hay que considerar las sombras de otros edificios, el uso de persianas o parasoles, el color de las cortinas, la velocidad del aire en la localidad y la dirección más frecuente, etc. Con todos estos datos, se procederá al cálculo de las pérdidas de calor

7.1.2 Determinación de las necesidades energéticas para la temporada de calefacción

Necesitamos conocer las pérdidas energéticas diarias (Q_d) de una vivienda o local como punto de partida para el dimensionamiento y diseño de una instalación de calefacción con aporte de energía solar, pero también el cálculo de las aportaciones energéticas necesarias al edificio para mantenerlo en condiciones internas de confort, lo cual nos encaminara a realizar estrategias de diseño del dispositivo de calefacción eficaces antes de la construcción. El conocimiento de las cargas térmicas de cada uno de los locales a calentar es un paso previo para el dimensionado de la instalación. La carga térmica de una estancia indica las pérdidas energéticas (W), que deben ser

compensadas por el sistema de calefacción para lograr las condiciones interiores de confort deseadas.

En esta investigación se realizó el balance térmico del módulo a evaluar por medio del software Autodesk Ecotect Analysis el cual nos permite conocer las pérdidas y ganancias de energía en un determinado momento (Q) o las ganancias o pérdidas diarias (Q_d) de un local. El modulo experimental se construyo en la azotea del edificio O (laboratorio de energía solar) de la Universidad Autónoma Metropolitana. En esta zona se considera un clima templado, ya que la temperatura media del mes más caluroso (mayo) es menor a 21°C, y la temperatura media del mes mas frio (enero) es de 14.6 sin embargo esta temperatura puede descender por debajo de los 7°C en incluso en temperaturas extremas puede descender por debajo de los 0° C. De acuerdo a los días grado, en la ciudad de México la mayor parte del año se tienen requerimientos de calentamiento con excepción en los meses de abril y mayo.

El modulo experimental mide 1.22 m de ancho por 2.44 m de largo y 2.44 m de altura, con paredes y techo de panel de yeso al interior y placas de durock al exterior, cuenta con aislante de fibra de vidrio de 3 cm de espesor entre las dos placas, finalmente, el modulo se recubrió con impermeabilizante de color blanco, el coeficiente K de esta composición de materiales es de 0.93 W/m² °C y el Coeficiente global de transmisión de calor del modulo es de 0,797 W/m² °C

Como se mencionó en el apartado anterior es necesario contar con los datos de temperatura, humedad, radiación solar incidente, velocidad del viento, etc. Así como las propiedades de los materiales con los cuales está construido el local, obtenidos estos datos podemos introducirlos en el software y así calcular las entradas y salidas de energía de un espacio, en nuestro caso, el módulo experimental del cual se obtuvo la carga térmica de calefacción de invierno en su momento más crítico, para así realizar el dimensionamiento del dispositivo de calefacción.

La expresión de cálculo del balance térmico de una estancia sigue la siguiente expresión:

$$Q = Q_c + Q_v + Q_i + Q_s \dots \dots \dots (8)$$

Dónde:

Tabla 12. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la carga térmica y sus valores

| | | | | | |
|-------------|---|------------|-------------|-------------|---|
| Q: | Carga térmica de calefacción [W] | Q horarias | | Q d diarias | W |
| Qc : | Ganancia o perdidas por conducción [W] | -140 | | -1370 | W |
| Qv : | Ganancia o perdidas por ventilación [W] | -24 | | -265 | W |
| Qi : | Ganancia interna de calor [W] | 0 | | 0 | W |
| Qs : | Ganancia solares [W] | 0 | | 155 | W |
| Q = | | -164 | Qd = | -1480 | W |

Fuente: Elaboración propia.

Esta ecuación solo nos indica cuales son las entradas y salidas de energía en un momento determinado, sin embargo, nosotros necesitamos conocer cuáles son las perdidas y/o ganancias de energía diarias. “En general es difícil determinar con precisión la cantidad de calor (**Qd**) que debe suministrarse por día dado que dependerá del régimen de funcionamiento, teniendo en cuenta la variación diaria de la temperatura exterior” (Quadri, 2003). Sin embargo, la experiencia práctica ha llevado a adoptar el 60 % del balance térmico horario durante 8 horas de funcionamiento, valor que ha dado resultados favorables.

Por lo tanto:

$$Q_d = Q * 0,6 * 8 \dots \dots \dots (9)$$

Dónde:

Q_d= Cantidad de calor a suministrar por día (W)

Q= Cantidad de calor a suministrar por hora (W)

En la figura 50 observamos la gráfica que muestra el análisis realizado mediante el software Autodesk Ecotect Analysis, en donde podemos observar las pérdidas y ganancias de energía de él módulo experimental a lo largo del día 7 de enero. El análisis de balance térmico se realizó para todo el mes de enero ya que este es el mes más crítico en cuanto a temperaturas en la ciudad de México; analizando las temperaturas anuales y mensuales obtenidas del observatorio de Tacubaya se determinó que el día 7 de enero es el más frío del año en la ciudad de México.

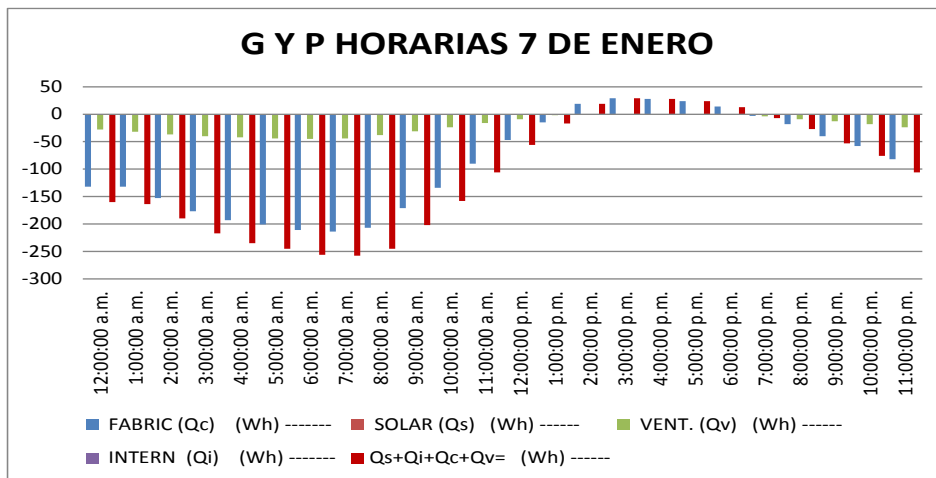


Fig. 50. Muestra las ganancias y pérdidas de energía del día 7 de enero. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del análisis mediante el software Autodesk Ecotect Analysis

Como podemos observar en la figura 50 el punto más crítico del día, es decir, la hora en que se tienen mayor pérdida de energía es a las 7 am del día 7 de enero, con pérdidas de 258 W. Sin embargo, para el cálculo del dispositivo de calefacción necesitamos conocer las pérdidas diarias de energía (Q_d), las cuales obtuvimos mediante el software Autodesk Ecotect Analysis. Los resultados se presentan en la figura 51, en donde podemos observar el balance térmico de un día típico de diciembre, que según el análisis es el mes más crítico en cuanto a pérdidas de energía, sin embargo, el mes más crítico en cuanto a temperaturas bajas en la ciudad de México es enero.

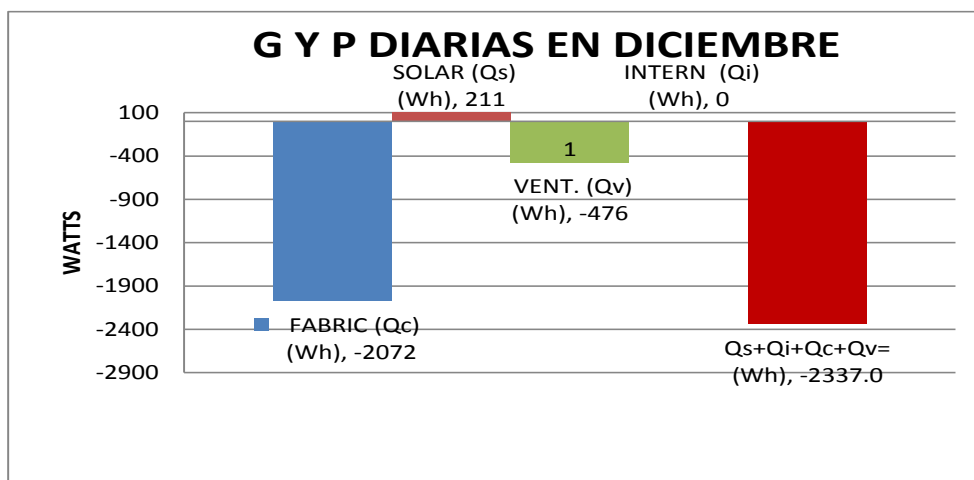


Fig. 51. Muestra las ganancias y pérdidas medias de energía durante el mes de enero. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del análisis mediante el software Autodesk Ecotect Analysis

La gráfica de la figura 51 muestra las pérdidas de energía diarias (Q_d) las cuales hacen a los 2337 W. esta cifra será nuestra carga térmica de invierno, la cual utilizaremos para el cálculo de nuestra fuente de energía, en este caso los colectores solares.

7.1.3 Cálculo de la potencia térmica necesaria

Partiendo de las pérdidas de carga calculadas anteriormente, se calcula el sistema de suelo radiante dinámico necesario para satisfacer las condiciones de confort deseadas. A diferencia de la energía diaria necesaria, la potencia nos dice que cantidad de energía por unidad de tiempo deben poder suministrar los elementos generadores y emisores de calor de las instalaciones de calefacción en unas condiciones de temperatura exterior mínima; cuando las pérdidas energéticas en un local habitado sean máximas.

“La norma española NBE CT-79 desarrollo un método de cálculo basado en el coeficiente global de pérdidas térmicas K_G . En este cálculo se toman en cuenta las perdidas por transmisión a través de todas las superficies exteriores en contacto con la intemperie y con los locales no calefactados.” (Ortega, 2001,pág 97)

Para determinar el K_G utilizaremos la siguiente ecuación:

$$K_G = \frac{\sum K_E S_E + 0.5 \sum K_N S_N + 0.8 \sum K_Q S_Q + \sum K_S S_S}{\sum S_E + \sum S_N + \sum S_Q + \sum S_S} \dots \dots \dots (10)$$

Dónde:

K_G : Coeficiente global de transferencia de calor de la edificación ($W/^\circ C m^2$)

K_E : Coeficiente de transmisión de calor de los cerramientos en contacto con el ambiente exterior. Muros o paredes verticales con inclinación superior a 60°, puertas, ventanas, forjados sobre espacios exteriores

K_N : Coeficiente de transmisión de calor de los cerramientos en contacto con otros edificios o locales no calentados, muros, ventanas, puertas y forjados de separación con espacios de altura mayor a 1 metro

K_Q : Coeficiente de transmisión de calor de los cerramientos de techo, lucernarios, claraboyas, azoteas, cubiertas inclinadas menos de 60° con la horizontal

K_S : Coeficiente de transmisión de calor de los cerramientos de separación con el terreno

$\sum S_E + \sum S_N + \sum S_Q + \sum S_S$: Superficie de cada uno de los cerramientos descritos en m^2

El coeficiente multiplicador de 0.5 toma en cuenta las perdidas hacia el terreno y hacia locales adjuntos no calentados, son aproximadamente la mitad de las que tendría hacia el aire del ambiente exterior.

El coeficiente 0.8 pretende tener en cuenta las ganancias debido a la radiación solar.

La siguiente tabla nos muestra los datos de partida para el cálculo del K_G del módulo experimental.

Tabla 13. Muestra los datos necesarios para el cálculo de K_G .

| CALCULO DE K_G | | | | | | |
|--|------|-----------------|--|---------------------|-----------------|---------------------|
| Elemento constructivo | | Superficie S | Coeficiente K | S K | Coef. | S S K |
| | | m^2 | kcal/h m^2 °C (W/ m^2 °C) (*A) | kcal/h °C (W/°C) | Corrector. n | kcal/h °C (W/°C) |
| Apartado E | Tipo | S_E | K_E | $S_E K_E$ | 1 | $S S_E K_E$ |
| Cerramientos en contacto con el ambiente exterior. | | | | | | |
| Huecos exteriores verticales, puertas, ventanas | Muro | 18,566 | 0,93 | 11,325 | 1 | 11,32526 |

| | | | | | | |
|--|-------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|------------|--|
| Cerramientos verticales o inclinados más de 60° con la horizontal | | | | 0 | 1 | 0 |
| Forjados sobre espacios exteriores | | | | 0 | 1 | 0 |
| Apartado N | Tipo | S_N | K_N | S_NK_N | 0.5 | S 0,5 S_N K_N |
| Cerramientos de separación con otros edificios o con locales no calentados | | | | | | |
| Cerramientos verticales de separación con locales no calentados, o medianerías | | | | 0 | 0.5 | 0 |
| Forjados sobre espacios cerrados no calentados de altura > 1 m | | | | 0 | 0.5 | 0 |
| Huecos, puertas, ventanas | | | | 0 | 0.5 | 0 |
| Apartado Q | Tipo | S_Q | K_Q | S_QK_Q | 0.8 | S 0,8 S_Q K_Q |
| Cerramientos de techo o cubierta | | | | | | |
| Huecos, lucernarios, claraboyas | Techo | 3.093 | 0,93 | 1,886 | 0.8 | 1,509384 |
| Azoteas (*C) | | | | 0 | 0.8 | 0 |
| Cubiertas inclinadas menos de 60° con la horizontal | | | | 0 | 0.8 | 0 |
| Apartado S | Tipo | S_s | K_s | S_sK_s | 0.5 | S 0,5 S_s K_s |
| Cerramientos de separación con el terreno (*B) | | | | | | |
| Soleras | Piso | 3.093 | 0,1 | 1,886 | 0.5 | 0,943365 |
| Forjados sobre espacios cerrados no calentados de altura > 1 m | | | | 0 | 0.5 | 0 |
| Muros enterrados o semienterrados | | | | 0 | 0.5 | 0 |
| Superficie total m² | | 24.752 |(1) | Σ total.....(4) | | 19.72 |
| Volumen total m³ | | 7.26 |(2) | | | |

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del factor de forma

El factor de forma de un edificio f , es la relación entre la suma de las superficies de los elementos de separación del edificio y el volumen encerrado por las mismas.

$$f = \frac{S_{total} \text{---(1)}}{V_{total} \text{---(2)}} = 3.40 \text{---(3)} \dots \dots \dots (11)$$

Dónde:

- S: Superficie total a climatizar del edificio. [m²].
- V: Volumen total a climatizar del edificio. [m³].

Cálculo del Coeficiente de transmisión térmica del edificio

$$K_G = \frac{\sum total \text{---(4)}}{S_{total} \text{---(1)}} = 0.797 \left(\frac{W}{m^2} ^\circ C \right) \text{---(5)} \dots \dots \dots (10)$$

Una vez calculado el K_G del edificio procederemos a determinar la potencia térmica necesaria en (W), esto lo haremos por medio de la siguiente ecuación:

$$P^* = K_G \cdot S_{ext} \cdot (T_a - T_e) + 0.35 \cdot N \cdot V_{int} \cdot (T_a - T_e) \text{ (W)} \dots \dots \dots (12)$$

Dónde:

Tabla 14. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la potencia térmica y sus valores

| | | | |
|-----------|---|--------|---------------------|
| P^* | Potencia térmica requerida W | ? | W |
| K_G | Coeficiente global de transmisión de calor de la edificación W/m °C | 0,797 | W/m ² °C |
| S_{ext} | Superficie total envolvente del edificio incluye suelo y techo m ² | 24,752 | m ² |
| T_a | Temperatura ambiente interior de diseño (°C) | 20,0 | °C |
| T_e | Temperatura exterior mínima de diseño (°C) | 7,4 | °C |
| N | Tasa de renovación de aire | 0,5 | r/h |
| V_{int} | Volumen interior de la edificación m ³ | 7,26 | m ³ |
| $P^* =$ | | 264.50 | W |

Fuente: Elaboración propia.

Una vez teniendo la potencia térmica en Watts pasaremos a determinar la potencia corregida y potencia del generador. “Para sistemas radiantes es necesario determinar la potencia térmica necesaria por unidad de superficie calefactora q^* , en W/m^2 ,” (Ortega 2001, pág. 100) es decir, cuantos watts por metro cuadrado hay que suministrar a un espacio para llevarlo a la temperatura deseada, esto lo haremos por medio de la siguiente fórmula:

$$q = \frac{P^*}{S_{int}} \dots \dots \dots (13)$$

Dónde:

Tabla 15. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la potencia corregida y sus valores.

| | | | |
|-----------------------------|------------------------------|---------------|---------|
| q | Potencia corregida W/m^2 | ? | W/m^2 |
| P^* | Potencia térmica requerida W | 264.50 | W |
| S_{int} | Superficie habitable m^2 | 2.58 | m^2 |
| $q^* =$ | | 102.52 | W/m^2 |

Fuente: Elaboración propia.

7.1.4 Cálculo de los colectores solares

La energía solar térmica de baja temperatura se adapta perfectamente a los requerimientos de temperatura del agua de circulación de una calefacción radiante. El rendimiento de los captadores solares aumenta cuando más baja sea su temperatura de trabajo. Para temperaturas medias de circulación del fluido calotransportador de entre 35 y 40 °C, el rendimiento es del orden del 60 % en invierno.

La potencia necesaria de los generadores de calor se calcula en base a las condiciones climáticas más adversas, es decir, para una temperatura exterior mínima, sin embargo, el número de colectores solares para proporcionar calefacción se estima en función de la energía que en un día medio de la temporada invernal es necesario aportar al local, con lo que la temperatura de diseño

del dispositivo de calefacción será la media de las medias diarias de los tres meses más fríos del año.

La superficie de captación necesaria se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{Q_{diarias}}{I_t \cdot n} \cdot f \dots \dots \dots (14)$$

Dónde:

Tabla 16. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de Superficie necesaria de colectores solares y sus valores.

| | | | |
|----------------------|---|-------|------------------|
| S: | Superficie necesaria de colectores solares [m ²] | ? | m ² |
| Qd | Necesidades energéticas diarias de calefacción (kcal o Wh) | -2320 | kcal o Wh |
| I_t | Intensidad de radiación media incidente W/m ² | 645 | W/m ² |
| n | Rendimiento de los colectores según la curva de eficiencia del fabricante (%) | 0,7 | % |
| f | Factor de cobertura de las necesidades energéticas diarias en tanto por uno | 0,50 | % |
| | S= | -2,5 | m ² |

Fuente: Elaboración propia.

La conexión de los colectores solares debe ser en paralelo, respetando el número máximo de colectores en paralelo que recomiendan los fabricantes, este suele ser no mayor a 10, las causas de esto son puramente hidráulicas, pues los colectores situados en el centro trabajan con menos caudal que los de los extremos. En general la conexión debe realizarse de manera que de modo natural el caudal que circule por cada colector o fila sea el mismo, es decir, que estén equilibrados hidráulicamente.

Debido a que el sol hace un recorrido de este a oeste pasando por el sur, la orientación preferente de los colectores solares debe ser sur. En estas instalaciones el generador auxiliar debe arrancar solo cuando la energía solar no sea capaz de cubrir las necesidades, esto lo podemos controlar por

medio de un termostato diferencial el cual controlara las dos fuentes de energía, dándole prioridad a la instalación solar.

Es preciso señalar que el fluido calotransportador debe ser una mezcla de anticongelante con agua para evitar roturas por congelación en las tuberías o colectores.

Tabla 17. Cantidad de anticongelante, en tanto por ciento que habría que añadir para proteger contra temperaturas frías extremas del exterior.

| $T_{exterior}$ | Porcentajes de anticongelante |
|----------------|-------------------------------|
| -5 | 15 |
| -10 | 25 |
| -15 | 33 |
| -20 | 39 |
| -25 | 44 |

Fuente: Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

7.1.5 Determinación de la potencia corregida y potencia del generador q^* , en W/m^2

“Para sistemas radiantes es necesario determinar la potencia térmica necesaria por unidad de superficie calefactora q^* , en W/m^2 ” (Ortega, 2001, pág. 100)

$$q^* = \frac{P^*}{S_{int}} \dots \dots \dots (15)$$

Dónde:

Tabla 18. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la Potencia corregida y sus valores.

| | | | |
|-----------|------------------------------|---------------|---------------------------|
| q^* | Potencia corregida W/m^2 | ? | W/m^2 |
| P^* | Potencia térmica requerida W | 264.50 | W |
| S_{int} | Superficie habitable m^2 | 2,58 | m^2 |
| $q^* =$ | | 102.52 | W/m^2 |

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenida la potencia corregida hay que agregar algunos coeficientes los cuales van a depender de las características de cada habitación. La potencia corregida para cada habitación es q_h , en W/m^2 resultaría de la siguiente expresión:

$$q_h = c_s \cdot c_p \cdot c_n \cdot c_{pv} \cdot q^* \dots \dots \dots (16)$$

Dónde:

Tabla 19. Variables que se involucran en la fórmula de la Potencia corregida para cada habitación

| | | | |
|----------|---|---------------|---------|
| q_h | Potencia corregida para cada habitación | i | W/m^2 |
| c_s | Coeficiente de seguridad 1.1 | 1,1 | |
| c_p | Coeficiente por el número de paredes externas (tabla 20) | 1 | |
| c_n | Coeficiente en función de la orientación de la habitación, en caso de que se encuentre en una cara norte (tabla 20) | 1 | |
| c_{pv} | Factor de corrección según el tipo de pavimento y su espesor (fig. 52) | 1,1 | |
| q^* | Potencia corregida W/m^2 | 102.52 | W/m^2 |
| | q_h | 124.05 | W/m^2 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

Como primer punto multiplicaremos por 1.1 como coeficiente de seguridad c_s acrecentando así un 10% la potencia emisora de la superficie. A continuación corregimos multiplicándolo por un coeficiente que tiene en cuenta el número de paredes exteriores de la estancia en cuestión c_p o bien su uso (cocinas, baños) este coeficiente se toma de la tabla 20

Tabla 20. Coeficientes correctores de la potencia emisora.

| Otras estancias número de paredes exteriores | | | Tipo de estancia | |
|--|-----|------|------------------|--------|
| 1 | 2 | 3 | Baño o aseo | Cocina |
| 1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 0.9 |
| Si además la orientación es NORTE | | | | |
| 1.05 | 1.1 | 1.15 | 1,1 | 1.15 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

También vamos a corregir en función de la orientación geográfica de la habitación, en el caso de que esta se encuentre en una cara norte C_n

Debido a que cada tipo de pavimento (mármol o granito, cerámico, barro o parquet, etc.) tiene distinta conductividad térmica y distinto espesor, debemos corregir la potencia emisora multiplicando por un coeficiente C_{pv} el cual podemos obtener de la figura 32

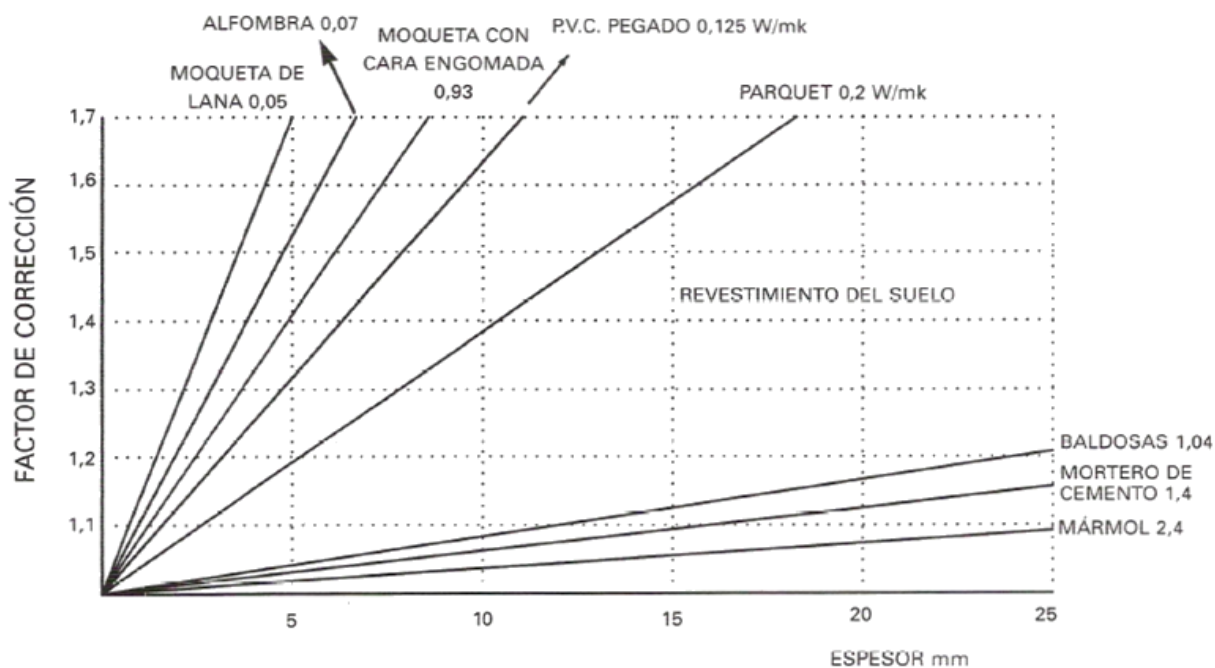


Fig. 52. Factor de corrección C_{pv} según el tipo y espesor del pavimento. Fuente: Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

Con la potencia corregida q_h por unidad de superficie útil la temperatura de la superficie del suelo podemos estimarlo con la figura 53.

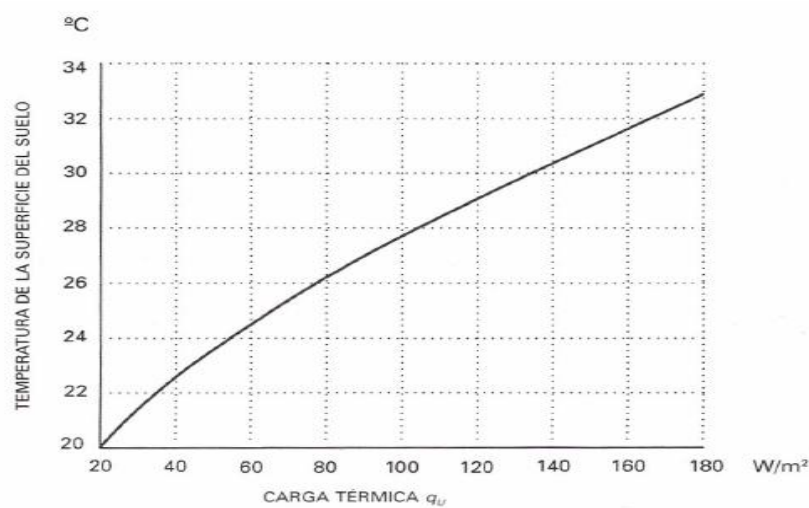


Fig. 53. Temperatura de la superficie del suelo en función de su emisividad térmica. Fuente: Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

La temperatura recomendada máxima de la superficie del suelo depende el uso y de la estancia y oscila entre 26 °C y 35 °C

Tabla 21. Temperaturas máximas en régimen permanente recomendables para superficies de suelo

| Estancia | T_s ($^{\circ}C$) |
|--|-----------------------|
| Vivienda zona de estar | 26-29 |
| Baño, duchas, aseo | 33 |
| Zonas laterales con grandes ventanales | 35 |
| Oficinas, etc. | 25 |
| Iglesias | 28 |
| Polideportivos, etc. | 25 |
| Piscinas, baños públicos, etc. | 29 |

. Fuente: Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

Sumando la potencia de las habitaciones obtenemos la carga térmica P^* que es necesario aportar a la vivienda en los momentos más fríos del año. Con temperaturas exteriores mínimas de diseño, esto resultaría de la siguiente expresión:

$$P = \sum q_h \cdot S_h \dots \dots \dots (17)$$

Dónde:

Tabla 22. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la Potencia necesaria a aportar en la vivienda y sus valores.

| | | | |
|------------|--|---------------|------------------|
| P : | Potencia necesaria a aportar en la vivienda [W] | ? | W |
| $\sum q_h$ | Suma de la potencia corregida para cada habitación es qh , en W/m ² | 124.05 | W/m ² |
| S_h | Superficie habitable m ² | 2,58 | m ² |
| $P =$ | | 320.06 | Watts |

Fuente: Elaboración propia.

Conocida la potencia necesaria en el momento de máximas necesidades de calefacción podemos elegir el generador de calor y su tamaño adecuado, en nuestro caso serán los colectores solares.

7.1.6 Determinación de la distancia de separación entre tubos y metros lineales de tubo

La separación entre tubos depende del caudal C (en l/h) que circule por cada circuito y del salto térmico ΔT , es decir, de la diferencia de temperatura entre la ida y el retorno.

A continuación se presentan las temperaturas de ida y de retorno que circulan por el serpentín del piso radiante. Como se ve a menor temperatura de ida menor salto térmico, lo que implica mayor caudal de circulación.

Tabla 23. Muestra la temperatura del agua en los circuitos y el salto térmico T^* .

| Temperatura del agua en los circuitos | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|------|------------|----|-------|
| T ida | T retorno | Tm | ΔT | Ta | T^* |
| 40 | 37 | 38,5 | 3 | 20 | 18,5 |

| | | | | | |
|----|----|----|---|----|----|
| 34 | 32 | 33 | 2 | 20 | 13 |
| 36 | 34 | 35 | 2 | 20 | 15 |
| 44 | 40 | 42 | 4 | 20 | 22 |

Fuente: Elaboración propia

Calcularemos a continuación el salto térmico T^* entre la temperatura media del agua en los circuitos T_m y la temperatura ambiente interior de diseño, T_a para cada una de las hipótesis, según la siguiente expresión:

$$T^* = T_m - T_a \dots \dots \dots (18)$$

Donde

Tabla 24. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de Salto térmico y sus valores.

| | | | |
|--------------------------|--|------|------|
| T^*: | Salto térmico (°C) | ? | (°C) |
| T_m | Temperatura media del agua en los circuitos (°C) | 38.5 | (°C) |
| T_a | Temperatura ambiente interior de diseño (°C) | 20 | (°C) |
| T^* | | 18.5 | (°C) |

Fuente: Elaboración propia

Los valores calculados para T^* lo podemos observar en la tabla 24. A continuación tomamos el circuito con mayor carga térmica y comprobamos en la gráfica 54, con qué valor de T^* podemos cubrir la demanda de calor para separaciones superiores a las técnicas

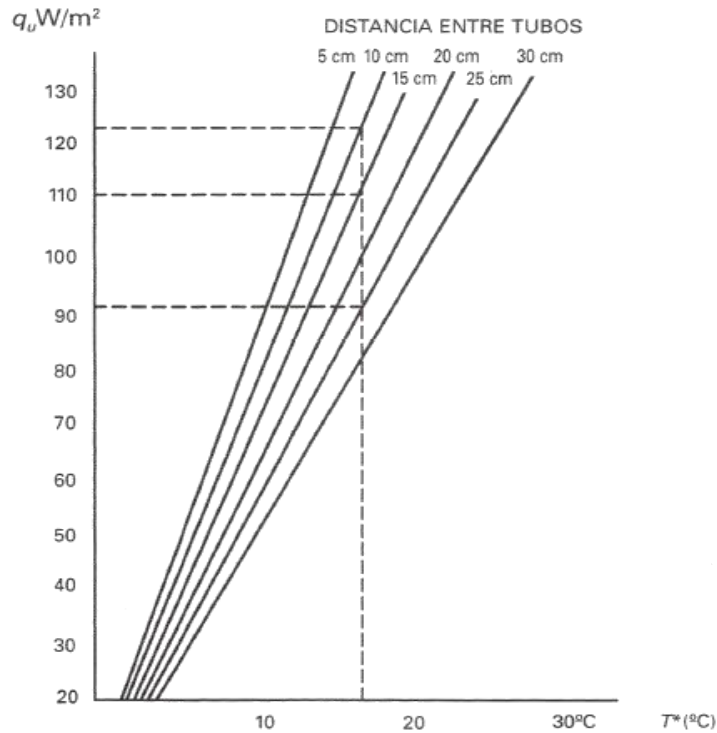


Fig. 54. Emisión térmica del suelo en función de salto térmico $T_m - T_a$ y la distancia de separación entre tubos.

Fuente: Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

7.1.7 Cálculo del caudal

Este caudal de agua es el que debe suministrar la bomba impulsora en el sistema de piso radiante. El caudal va a determinar cuál va a ser la separación de los tubos en el serpentín que compone el sistema de piso radiante.

“Una vez elegido el valor de T^* , podemos calcular el caudal necesario para cada circuito, pues a cada valor de T_m , podemos hacerle corresponder un valor de ΔT “(Ortega, 2001, pág. 108). Este queda determinado por la siguiente. Expresión

$$C_c = \frac{q_c \cdot S_c}{\Delta T} \dots \dots \dots (19)$$

Dónde:

Tabla 25. Muestra las variables que se involucran en la fórmula del caudal y sus valores.

| | | | |
|------------------------------------|---|--------|----------------|
| C_c | Caudal del circuito L/h | ? | L/h |
| q_c | Potencia corregida W | 2320 | W |
| S_c | Superficie útil del circuito m ² | 2,58 | m ² |
| ΔT | Salto térmico entre temperatura al interior de la tubería y la superficie del piso °C | 18.5 | (°C) |
| CcCaudal del circuito L/h | | 323.55 | L/h |
| CcCaudal del circuito L/min | | 5.39 | L/m |
| CcCaudal del circuito L/seg | | 0,09 | L/s |

Fuente: Elaboración propia.

Es difícil encontrar alguna bomba impulsora que nos brinde el caudal exacto, por tal razón este va a ir regulado por medio de una válvula de abuja la cual nos permitirá ajustarlo a las necesidades requeridas.

7.1.8 Cálculo del espesor del mortero

En una instalación de piso radiante con colectores solares no es precisamente necesario un deposito acumulador ya que el agua caliente se está generando constantemente por el colector solar, además podemos acumular calor por medio de la losa de mortero y del acabado que componen al piso, de esta forma el piso funcionara como un acumulador térmico. El cálculo del espesor del mortero necesario se hará según la expresión siguiente:

$$e_m = \frac{Q_{diarias} \cdot \frac{t \cdot f}{24} - S \cdot e_s \cdot C_{ps} \cdot d_s \cdot (T_{is} - T_{fs})}{S \cdot C_{pm} \cdot d_m \cdot (T_{im} - T_{fm})} \dots \dots \dots (20)$$

Dónde:

Tabla 26. Muestra las variables que se involucran en la fórmula del espesor del mortero y sus valores.

| | | | |
|-----------------------------------|--|--------------|-------------------|
| e_m | Espesor del mortero en (m) | ? | m ² |
| $Q_{diarias}$ | Necesidades energéticas diarias de calefacción (Kcal o Wh) | 1480 | Kcal o Wh |
| t | Tiempo de desconexión en horas de la maquina térmica (h) | 16 | h |
| e_s | Espesor de la solería o acabado del piso en (m) | 0.005 | m |
| S | Superficie de la vivienda en (m ²) | 2.58 | m |
| C_{pm} | Calor específico del mortero 0.24 Kcal/Kg °C | 0.24 | Kcal/Kg °C |
| C_{ps} | Calor específico del material del piso Kcal/Kg °C | 0.24 | Kcal/Kg °C |
| d_m | Densidad del mortero 1,800 a 2000 Kcal/Kg °C | 1800 | Kcal/Kg °C |
| d_s | Densidad del material del suelo Kg/m ³ | 1800 | Kg/m ³ |
| T_{im} | Temperatura inicial del mortero después del periodo de calentamiento entre 30 y 32°C | 30 | °C |
| T_{fm} | Temperatura final del mortero después del periodo de enfriamiento fijada en 19 °C | 19 | °C |
| T_{is} | Temperatura inicial del solado después del periodo de calentamiento entre 29 y 30°C | 29 | °C |
| T_{fs} | Temperatura final del solado después del periodo de enfriamiento fijada en 18°C | 18 | °C |
| f | Factor de cobertura de las necesidades energéticas diarias en tanto por uno | 0.6 | % |
| Espesor del mortero en (m) | | 0.043 | m |

Fuente: Elaboración propia con datos de Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

Con esto calculamos el espesor adecuado para el mortero, sin embargo, el espesor mínimo para esta sería de por lo menos 3.5 cm por encima del tubo.

Para la preparación del mortero debemos considerar los materiales, tales como la arena y la grava, estas deben de ser de un diámetro tal que permita que la masa se introduzca bien entre la tubería y el aislante, envolviendo el tubo en su totalidad; al mortero se le debe de agregar un aditivo especial, el cual mejora las características de fluidez del mortero fresco y también es un plastificante que mejora la resistencia a la compresión del mortero.

La loza de mortero debe respetar las juntas de dilatación, las que dividan las superficies en proporciones de 40 m² como máximo, las que separan las habitaciones unas de otras o de pasillos y las propias del edificio.

7.1.9 Cálculo del tanque de acumulación

Si queremos acumular energía para cederla a la vivienda cuando el generador no esté funcionando debemos dimensionar el acumulador según la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q - S \cdot [e_m \cdot C_{pm} \cdot d_m \cdot (T_{im} - T_{fm}) - e_s \cdot C_{ps} \cdot d_s \cdot (T_{is} - T_{fs})]}{T_{fa} - T_{ia}} \dots \dots (21)$$

Dónde:

Tabla 27. Variables que se involucran en la fórmula del volumen de tanque de acumulación

| | | | |
|-----------------------|--|-------------|-------------------|
| V | Volumen del depósito acumulador en m ³ | ? | m ² |
| Q | Kilocalorías que pierde la vivienda en las horas en que no está funcionando el generador | 476.784 | Kcal o Wh |
| e_m | Espesor de la losa de mortero en (m) | 0.043 | m |
| e_s | Espesor de la solería en m | 0.005 | m |
| S | Superficie de la vivienda en m ² | 2.58 | m ² |
| C_{pm} | Calor específico del mortero 0.24 Kcal/Kg °C | 0.24 | Kcal/Kg °C |
| C_{ps} | Calor específico del material del suelo 0.24 Kcal/Kg °C | 0.24 | Kcal/Kg °C |
| d_m | Densidad del mortero 1,800 a 2000 Kg/m ³ | 1800 | Kg/m ³ |
| d_s | Densidad del material del suelo Kg/m ³ | 1800 | Kg/m ³ |
| T_{im} | Temperatura inicial del mortero después del periodo de calentamiento entre 30 y 32°C | 30 | °C |
| T_{fm} | Temperatura final del mortero después del periodo de enfriamiento fijada en 19 °C | 19 | °C |
| T_{is} | Temperatura inicial del solado después del periodo de calentamiento entre 29 y 30 °C | 29 | °C |
| T_{fs} | Temperatura final del solado después del periodo de enfriamiento fijada en 18 °C | 18 | °C |
| T_{ia} | Temperatura inicial del agua en el depósito 18 °C | 18 | °C |
| T_{fa} | Temperatura final del agua en el depósito después del calentamiento 90 °C | 60 | 70 |
| | Volumen del depósito acumulador en m³ | 0.18 | |

Fuente: Elaboración propia con datos de Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

“En esta ecuación se tiene en cuenta que parte del calor necesarios es acumulado en el en la losa de mortero y el solado, por lo que en el depósito acumularemos el resto. Hemos supuesto que el resto de los elementos de la edificación no intervienen como acumuladores de calor, permaneciendo a temperatura constante.” (Ortega, 2001)

El volumen de acumulación sale más pequeño cuanto mayor sea el tiempo de encendido del generador ya que Q resulta de:

$$Q = P \cdot N^o \text{ De horas en que el dispositivo está apagado}$$

Dónde: P son las perdidas térmicas medias horarias en Kcal/h de la vivienda o la edificación, que pueden obtenerse dividiendo entre 24 horas el valor de Q

$$P = 61.6 \text{ w/h} \times 0.86 = 52.97 \text{ Kcal/h}$$

De esta manera cuanto mayor sea el espesor de la capa de mortero menor deberá de ser el volumen del depósito acumulador, incluso pudiendo llegar a que el depósito no sea necesario, salvo como depósito acumulador. Una vez dimensionando el sistema de piso radiante en base a los datos obtenidos del observatorio o de Tacubaya podremos seleccionar los elementos y el tipo de material para su construcción.

7.2 ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA INSTALACIÓN.

7.2.1 Tubería

Aunque las primeras tuberías que se utilizaron en sistemas radiantes por suelo fueron metálicas, hierro primero y cobre después, actualmente las instalaciones se realizaron con tuberías de plástico resistentes a temperaturas incluso superiores a los 100 °C; son las llamadas tuberías termoplásticas. Existen tres tipos de tuberías de plástico, estos son: polipropileno copolimero (pp-c), polibutileno (PB), o polietileno reticulado (PER o VPE). Los tres materiales son polímeros formados por macromoléculas que a su vez están formadas por la unión de unidades o monómeros de moléculas orgánicas de menor tamaño.

Las tres tuberías termoplásticas antes mencionadas tienen características comunes: son flexibles, de paredes muy lisas y sensibles a la componente ultravioleta de la radiación solar, que provoca en ellas efectos de envejecimiento y pérdida de elasticidad. En las condiciones de presión y temperatura de trabajo de una calefacción radiante suelen tener garantía de los fabricantes de 50 años, aunque las pruebas de durabilidad dan resultados muy superiores.

Tabla 28. Algunas características físicas de las tuberías de plástico.

| Características | Unidad | Polibutileno (PB) | Polipropileno (PP-C) | Polietileno reticulado (VPE) |
|-----------------------------------|----------|-------------------|----------------------|------------------------------|
| Densidad | g/cm^3 | 0.93 | 0.91 | 0.94 |
| Resistencia a la rotura | N/mm^2 | 33 | 45 | 23 |
| Alargamiento hasta rotura | % | 280 | 1.100 | 250 |
| Módulo de elasticidad | N/mm^2 | 350 | 1,000 | 750 |
| Conductividad Térmica | W/mK | 0.22 | 0.22 | 0.38 |
| Coefficiente de dilatación lineal | mm/mK | 0.13 | .018 | 0.19 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

El tubo de polipropileno tiene la ventaja de que puede soldarse con facilidad por polifusión, esto por medio de una máquina llamada polifusor. El tubo de polipropileno copolímero es el más rígido de los tres plásticos, por lo que para la realización de curvas cerradas, es necesario llenarlo de agua caliente.

La tubería de polibutileno presenta gran resistencia a la temperatura, pudiendo trabajar hasta 80°C sin problemas de envejecimiento, su gran ventaja es que tiene mayor flexibilidad respecto de los otros dos plásticos mencionados, lo que hace más fácil el montaje.

Por su parte, el polietileno reticulado es el más resistente a la temperatura, tiene una flexibilidad intermedia y presenta la mayor conductividad térmica, por su relación calidad/precio es el más usado en la actualidad en este tipo de instalaciones.



Fig. 55. Diferentes tipos de las tuberías de termoplástico. Fuente: manual técnico de piso radiante Floor standard

7.2.2 El aislamiento

Para evitar que el calor se propague hacia abajo es preciso colocar un aislante entre el suelo (terreno) y el mortero que cubre los tubos, el material más empleado para este fin es poliestireno expandido del alta densidad, con una densidad superior a $20 \text{ kg por } m^3$. Esta es la densidad mínima para que el mortero del piso soporte sin deformaciones. Además del poliestireno existen en el mercado otros materiales que pueden usarse como aislamiento base tales como: P.V.C. expandido (cloruro de polivinilo), la lana de roca, el poliuretano, etc.

Las distintas casas comerciales ofrecen variados sistemas de aislamiento de suelo con espesores generalmente comprendidos entre 2 y 4 cm, así tenemos:

- a) Planchas lisas de poliestireno expandido de alta densidad, este sistemas requiere la colocación de una lámina de plástico encima del aislamiento (película de polietileno) para evitar la creación de puentes térmicos y acústicos
- b) Planchas con tetones para guiar el tubo a las distancias adecuadas y servir de sistema de fijación, aunque la tensión del tubo al venir enrollado hace necesario utilizar grapas de fijación.
- c) Planchas especiales de muy alta densidad con capas rígidas de cloruro de polivinilo o de polietileno para soportar pesos importantes

- d) Planchas en rollo que incorporan la minas de papel kraft, films de aluminio y film de polietileno. Sin tetones y con solapas adhesivas en los extremos para fijar unas bandas con otras.

No podemos olvidar que un aislamiento de suelo también produce como efecto añadido la disminución de la transmisión del sonido de impacto, con lo que mejoramos las propiedades acústicas de los cerramientos del suelo.

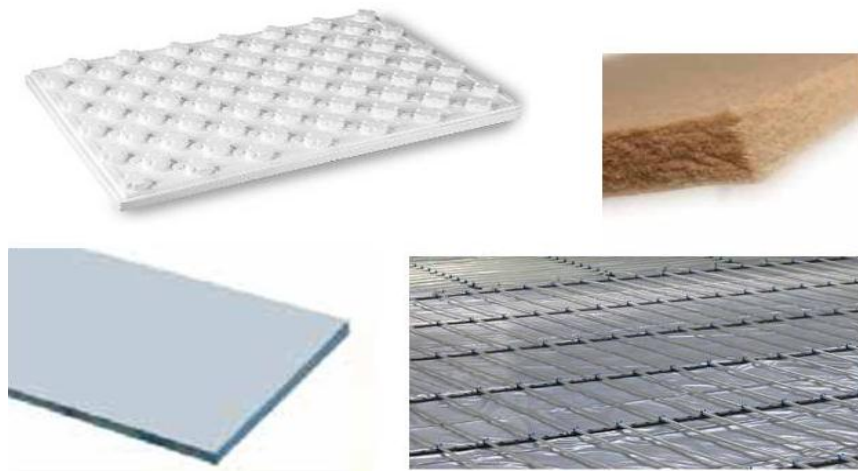


Fig. 56. Diferentes tipos de aislantes base. Fuente: Manual técnico de piso radiante. Floor standard

7.2.3 Sistema de fijación.

Al desenrollar la tubería sobre el aislante es necesario fijarla al mismo, podemos utilizar cualquier sistemas de fijación del tubo siempre que no se provoquen daño al tubo, ya que al dilatarse y contraerse el tubo, puede haber fricción entre el sistemas de fijación y el tubo. Algunos sistemas son los siguientes:

- a) Fijación con maya y lazos. Consiste en colocar una maya de varillas de acero electrosoldado sobre la capa aislante, de la cual se fijan los tubos mediante lazos no metálicos y no muy apretados para no dañar el tubo
- b) Fijación con guías y grapas: se fijan sobre el aislamiento base unas guías metálicas o de plástico sobre las que se encajan unas grapas que a su vez sirven

para la fijación del tubo, con este sistema solo podemos poner el tubo en forma de serpentín, no funciona en espiral.

- c) Fijación con grapas: consiste en unas grapas que se enroscan en el aislante y en las que se encaja posteriormente el tubo, aproximadamente se debe colocar una grapa por cada metro lineal y de 2 a 3 grapas por cada cambio de dirección de 90° dada la debilidad de esta unión, sobre todo si se usa aislamiento de 2 cm de espesor, es preciso tener cuidado con la tensión de los tubos en las curvas para evitar que se suelten.
- d) Fijación con grapas arpón: las grapas se colocan con una herramienta especial al mismo tiempo que se desenrolla el tubo
- e) Fijación incorporada al aislamiento: las planchas incorporan unos tetones entre los que se encaja el tubo, sin embargo, a veces hay que incorporar una grapa para el anclaje sobre todo en las curvas ya que a veces en estas el tubo tiende a levantarse.



Fig. 57. Ejemplos de los diferentes tipos de sistemas de sujeción. Fuente: Manual técnico de piso radiante. Floor standard

7.2.4 Banda perimetral

Es una banda de material aislante que separa la losa del mortero y el solado de las paredes, logrando que éste sea un pavimento flotante, facilitando la dilatación del mismo y contrarrestando el efecto de fuga de calor debido al puente térmico del suelo con las paredes y cerramientos laterales. El material para la banda perimetral puede ser poliuretano, poliestireno expandido o algún otro material aislante.



Fig. 58. Banda perimetral aislante. Fuente: Manual técnico de piso radiante. Floor standard.

7.2.5 El distribuidor.

Como su nombre lo indica su misión es la de distribuir el agua de la tubería general que lleva el agua caliente a cada uno de los circuitos emisores, los cuales normalmente son por habitación, estos recogen también el agua de los circuitos para llevarla al generador. El distribuidor está compuesto de dos tuberías horizontales paralelas sujetas a la pared mediante un soporte, a estas tuberías llamadas colectores se les acoplan válvulas, purgadores, termómetros, grifos de vacío y caudalímetros y de ellos parten los tubos hacia el suelo, uno de los tubos es el de ida y otro el de retorno.

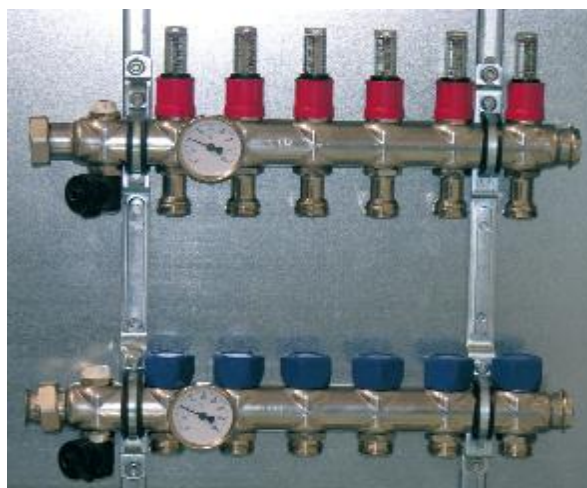


Fig. 59. Distribuidor o colectores que se encargan de distribuir el fluido por todos los circuitos. Fuente: Manual técnico de piso radiante. RDZ

7.2.6 Generadores de calor

Podemos decir que en una instalación de calefacción por suelo radiante puede usarse cualquiera de los aparatos existentes para producir agua caliente para calefacción tales como calderas de gas, bombas de calor, calderas eléctricas y colectores solares. Sin embargo pueden ser más simples los sistemas que incorporen generadores de calor que puedan trabajar con temperaturas de agua de 30 a 50 °C. Esto lo cumplen las calderas de gas, la bomba de calor, las calderas eléctricas, también son muy apropiados los colectores solares de placa plana dado que por su temperatura de trabajo se adaptan perfectamente a los requerimientos térmicos del agua de circulación.

7.2.7 Tipos de circuitos y sus variantes

La distribución del tubo debajo del mortero no debe ser aleatoria, debemos procurar que la disposición del tubo embutido en la capa de mortero repercuta en un reparto homogéneo del calor por toda la superficie del suelo. Esto se consigue determinando la separación entre tubos y manteniendo un mínimo espesor de la capa de mortero por encima de la generatriz superior del tubo, es recomendable 4 cm.

“Se puede jugar con este espesor si tomamos en cuenta que a mayor espesor habrá más acumulación de calor y por lo tanto más inercia, y a menor espesor el efecto térmico en los recitos se notara con más rapidez desde la puesta en marcha.” (Ortega 2001, pág. 53)

El tubo se extiende formando serpentines o espirales con tres formas gráficas que son las siguientes:

- a) La distribución en serpentín simple
- b) La distribución en doble serpentín
- c) La distribución en espiral

Para cualquiera de los distintos tipos de distribución, siempre se comienza a unos 10 o 15 cm de separación de las paredes o límites del circuito y el tubo se alinea de forma paralela a los mismos.

La distribución en serpentín simple consiste en colocar el tubo formando líneas paralelas de ida y de vuelta manteniendo la equidistancia del cálculo entre ellas. Es la forma más fácil, pero para

separaciones menores a los 24 cm las curvas de 180° presentan dificultades de ejecución. Este sistema es el más sencillo pero presenta la desventaja de que se calienta más el mortero al inicio del recorrido que al final, por lo que se crean diferenciales de temperatura en las estancias, sin embargo la diferencia de temperaturas no son tantas como cuando usamos radiadores.

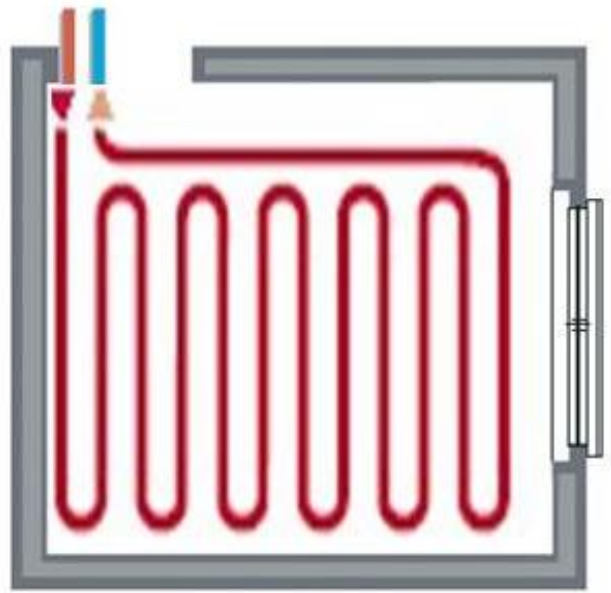


Fig. 60. Ejemplos de la distribución en serpentín simple. Fuente: Manual técnico de piso radiante Roth

El doble serpentín se ejecuta intercalando una línea de ida con otra de retorno. Al desenrollar el tubo se realiza una hilada, se hace una curva de 180° dejando en medio tres veces la separación entre tubos, que debe quedar al final, para poder intercalar dos nuevas líneas. De este modo lo que obtenemos son dos tubos paralelos con fluido de ida seguidos de otros dos con fluido de retorno, por este motivo podrían provocarse franjas del suelo más calientes y franjas más frías.

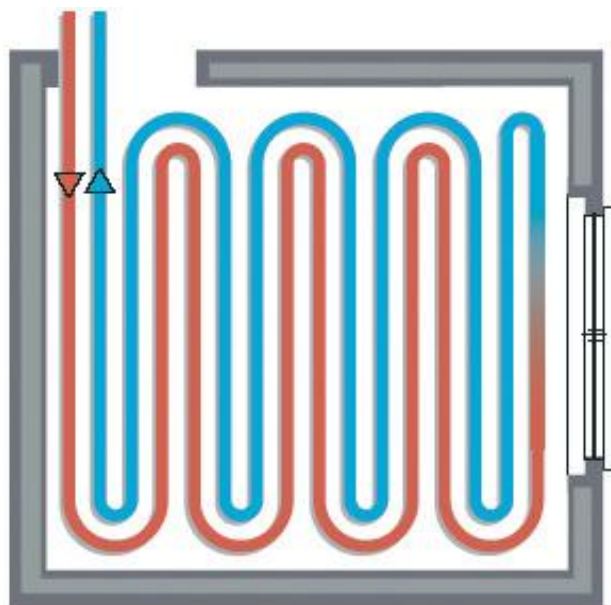


Fig. 61. Ejemplos de la distribución en doble serpentin. Fuente: Manual técnico de piso radiante Roth

La distribución en espiral consiste en colocar el tubo desde los límites exteriores hacia el centro de la habitación, dejando entre líneas paralelas dos distancias de separación para poder volver con el tubo entre cada dos líneas y que al final todas las líneas tengan la misma distancia. Una vez que se llega al centro se hacen dos giros de 180° y se sale por el medio que hemos dejado. La espiral debe seguir tramos paralelos a la forma de la habitación o zona aunque esta sea irregular.

Es el modo de distribución que mejor homogeniza la temperatura de la superficie radiante, pues se van intercalando los primeros tubos de ida con los últimos de retorno. La distribución en espiral se adapta con facilidad a cualquier forma geométrica cuadrada o rectangular, e incluso poligonal de más o menos cuatro lados.

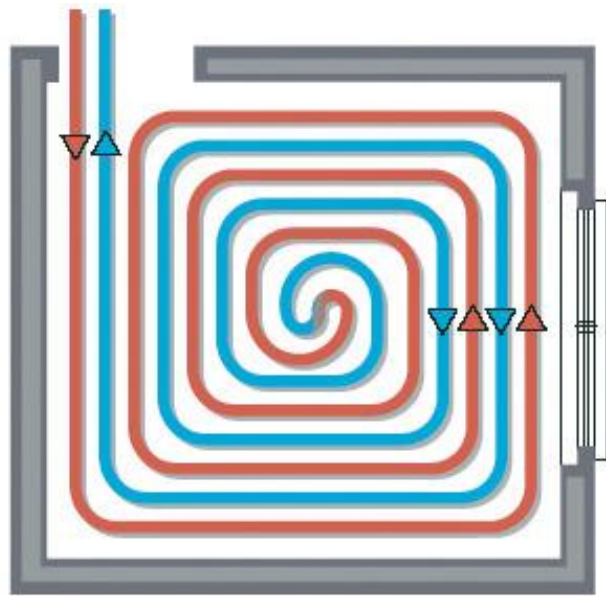


Fig. 62. Ejemplos de la distribución en espiral. Fuente: Manual técnico de piso radiante Roth

Una vez que hemos analizados todos y cada uno de los elementos que componen al sistema de piso radiante podemos pasar a la construcción del mismo, en la figura 63 podemos observar la configuración del piso radiante con cada una de sus partes ya la forma en que estas van colocadas.

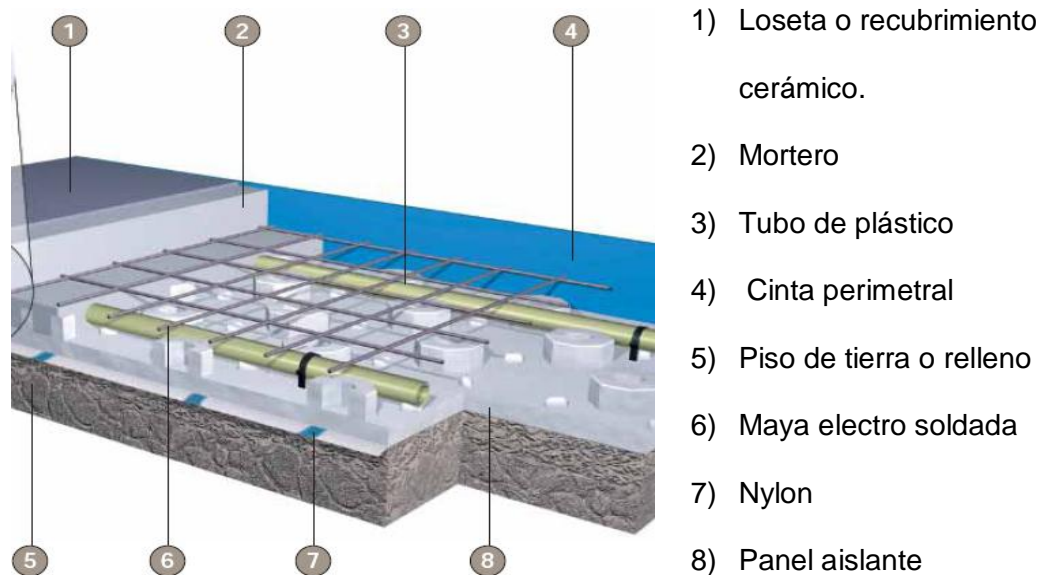


Fig. 63. Ejemplos de la configuración del piso radiante con todos sus elementos. Fuente: Manual técnico de piso radiante RDZ

Como podemos observar en la figura 63 todos los elementos deben de ir colocados con un orden lógico para conformar el sistema de piso radiante y que este funcione de una manera adecuada, a lo largo de esta capítulo analizamos todos los elementos y variables que interviene en el cálculo y la configuración del piso radiante. Una vez realizado esto podemos proseguir con la construcción del sistema de calefacción y con el análisis térmico del espacio a calentar

CAPITULO VIII

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
TERMICO DE UN ESPACIO ACONDICIONADO
CON UN SISTEMA DE PISO RADIANTE
HIDRÓNICO SOLAR

CAPÍTULO VIII

8. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN ESPACIO ACONDICIONADO CON UN SISTEMA DE PISO RADIANTE HIDRÓNICO SOLAR

8.1. EVALUACIÓN EN PIV DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL PISO RADIANTE EN UN MODELO A ESCALA.

Para captar como es el comportamiento del flujo de aire caliente se utilizara la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV). Este es un método óptico de visualización de flujos, se utiliza para obtener mediciones de velocidad instantánea y propiedades relacionadas en los fluidos, estos sistemas también se pueden utilizar para la visualización de flujo en líquidos y gases.

El PIV consiste en una cámara (normalmente una cámara digital), un láser de alta potencia con un arreglo óptico para convertir la salida del láser a una hoja delgada de luz y un software que capta el comportamiento de los flujos por medio de líneas de dirección que son vectores, los cuales indican la dirección y velocidad de los fluidos y gases (fig. 65).



Fig.64 Muestra el prototipo a escala que se utilizara para ver el comportamiento del aire por del PIV

El objetivo de esta prueba es ver cuál es el comportamiento del aire caliente dentro de un espacio de 1.22 m de ancho por 2.22 m de largo y 2.2 m de altura en un modelo a escala 1:4. El modelo es un prototipo hecho en acrílico de 6mm de grosor, las medidas son las siguientes (fig. 64):

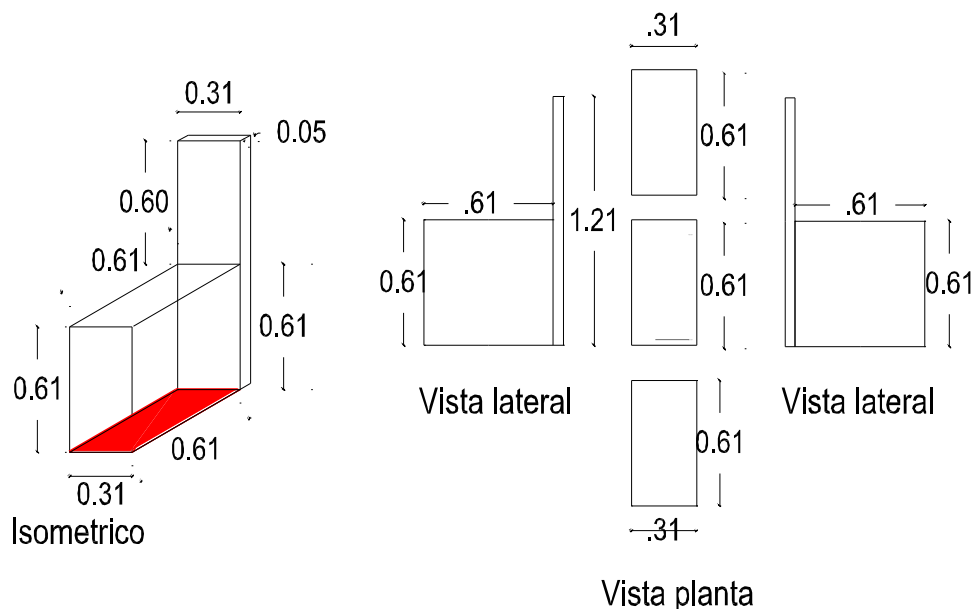


Fig.65. Muestra el prototipo a escala del módulo en donde se realizaron las mediciones de temperatura

En la parte inferior se colocó una resistencia eléctrica forrada con mica eléctrica, la cual simula la fuente de calor, en este caso al piso radiante, la temperatura de la resistencia se controló por medio de un variador de voltaje. El experimento pretende desmotar que el piso radiante simulado con la resistencia eléctrica brinda un calor uniforme dentro del espacio, fluyendo de forma vertical sin provocar zonas frías, ni corrientes de aire.

En la primera evaluación se tomó una sección del modelo a escala del espacio en donde se implementó el piso radiante. El experimento consiste en simular el piso radiante mediante una resistencia eléctrica cubierta por una mica eléctrica con el fin de ver cuál es el comportamiento del aire en un espacio con una fuente de calor proveniente del piso. Con esta prueba se busca ver si el piso radiante proporciona un reparto uniforme del calor en sentido horizontal y vertical. Ya que en teoría la temperatura del aire es más alta a nivel del suelo, disminuyendo progresivamente hacia el techo.

Las imágenes vectoriales que captan el comportamiento del aire caliente se tomaron por secciones, ya que el PIV no logra captar en su totalidad el modelo a escala. A continuación se presentan las evaluaciones realizadas en el modelo a escala, las cuales nos mostrarán cómo se comporta el flujo de aire caliente al interior del espacio. Las imágenes se capturaron de derecha a izquierda tal y como se muestra en la figura 66 donde se indica que sección fue capturada.



Fig. 66 Muestra el prototipo a escala y la sección analizada

En la primera sección del módulo encontramos que el calor que proporciona el piso radiante indica el comportamiento ascendente del aire ya que la dirección de los vectores nos hace referencia a este movimiento (fig. 67).



Fig. 67. Muestra el comportamiento del aire en la primera sección analizada por medio del PIV

En la segunda sección analizada (fig. 68) observamos que el movimiento continúa en forma ascendente con perturbaciones en la parte superior derecha e izquierda debido al choque del aire con las paredes del modelo a escala (fig. 69).



Fig. 68. Muestra la segunda secciona analizada del prototipo a escala

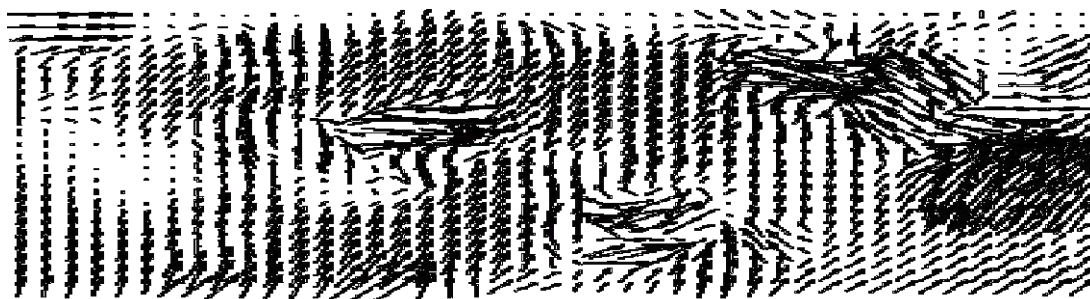


Fig. 69. Muestra el comportamiento del aire en la segunda sección analizada por el PIV

En cuanto a la tercera sección analizada del módulo a escala (fig. 70), vemos que el comportamiento del aire es ascendente ya que el calor que proporciona la resistencia eléctrica simulando el piso radiante, calienta el aire haciendo que este sea menos denso y por tal razón tiende a subir, en la parte central encontramos algunas turbulencias que son causadas por el choque de aire frío con el aire caliente que va en ascenso (fig. 71).

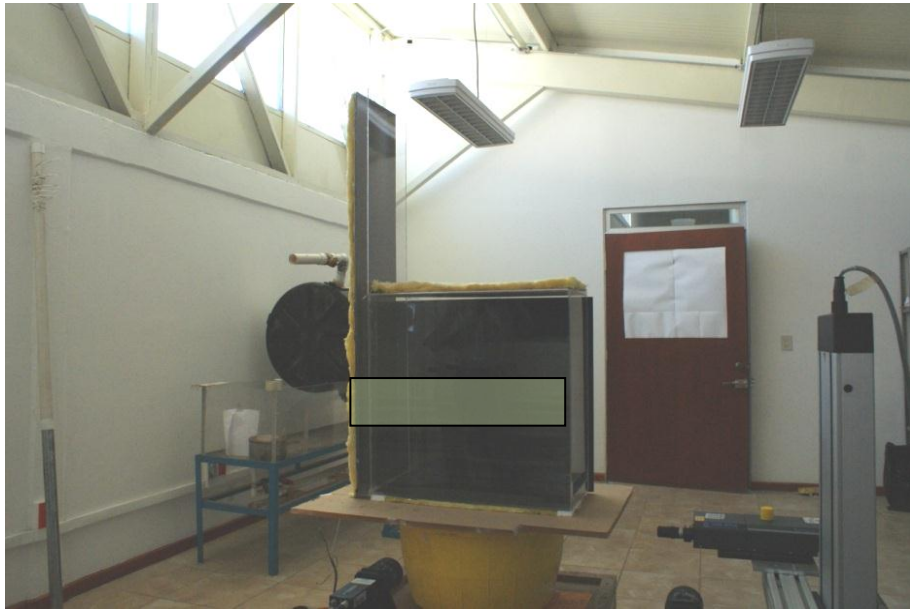


Fig. 70. Muestra la tercera sección que se analizó para ver el comportamiento del aire caliente



Fig. 71. Muestra el movimiento del aire y las perturbaciones que se producen en la tercera sección analizada por medio del PIV

En la cuarta sección analizada (fig.72) el movimiento del aire caliente es ascendente, sin embargo se presentan perturbaciones descendentes en la parte superior, debido a que parte de esta masa de aire está perdiendo calor y, en consecuencia éste comienza un movimiento descendente. Esto provoca que el aire que va en ascenso choque con el que va en descenso, causando así perturbaciones en algunos puntos (fig. 73).



Fig. 72. Muestra el prototipo a escala y la sección analizada por el PIV

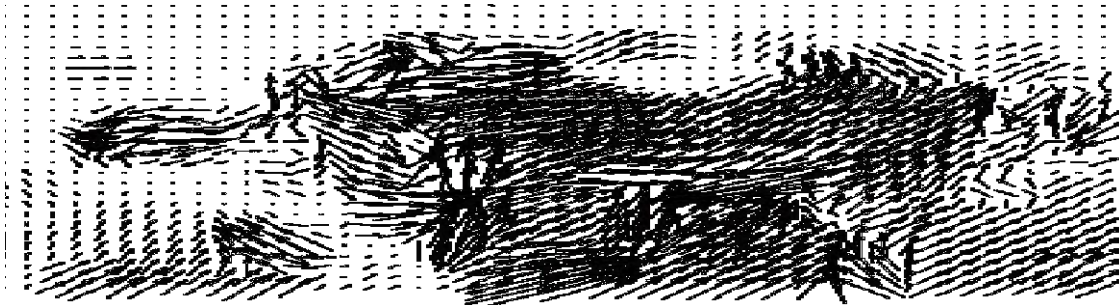


Fig. 73. Muestra el movimiento de aire en la parte superior del prototipo a escala

En la quinta y última sección (fig. 74), el movimiento del aire comienza a tomar direcciones verticales debido a la cercanía con el techo del modelo a escala, en el algunos casos hay perturbaciones debido a que el aire que va perdiendo calor comienza a descender y choca con el aire caliente que va en ascenso (fig. 75).



Fig. 74. Muestra la sección analizada del prototipo a escala



Fig. 75. Muestra la última sección que se analizó en el prototipo a escala, se puede apreciar el comportamiento del aire caliente a través de la dirección de los vectores

El funcionamiento del sistema de calefacción por piso radiante se basa en el hecho de que la totalidad de la superficie se convierte en una superficie radiante a moderada temperatura, con lo cual el calor se expande rápida y uniformemente por toda la casa, logrando alcanzar una serie de grados de forma homogénea. Este hecho fomenta un equilibrio térmico del organismo en el ambiente.

Observando el análisis realizado a través del PIV podemos constatar que efectivamente el aire que se calienta por el piso radiante asciende de forma homogénea hasta llegar al techo, en donde

se generan algunas perturbaciones debido a que el aire comienza a perder calor y baja su temperatura, por tal razón este aire desciende y choca con el aire que van en ascenso (fig. 76).

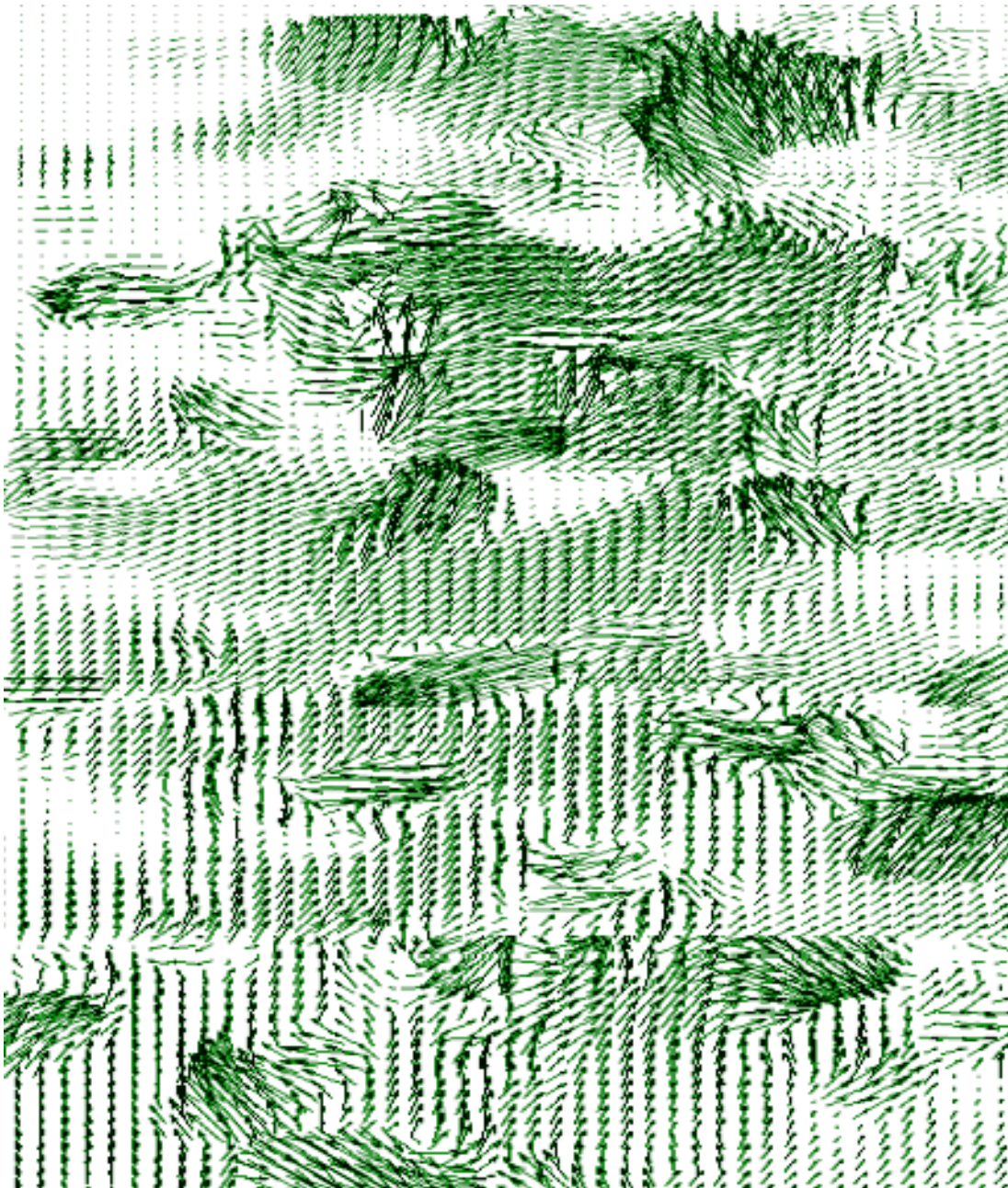


Fig. 76. Muestra la el comportamiento de aire en el interior del prototipo a escala, se puede apreciar el movimiento ascendente en la parte inferior y las perturbaciones que se generan en la parte superior

Este sistema se basa en el hecho natural de que cuando un cuerpo tiene una temperatura superior a los objetos que le rodean, tiende a eliminar el calor que posee en exceso, radiando energía hacia los cuerpos más fríos. De hecho, un ambiente verdaderamente cómodo es aquel diseñado para aportar calor a nuestros cuerpos a un ritmo proporcional a nuestro metabolismo, de forma inteligente y regulada.

ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Las condiciones de comodidad o confort térmico dependen de las variables del medio ambiente, como la temperatura, humedad, velocidad del aire y radiación incidente. Los métodos para determinar las condiciones de comodidad térmica se desarrollaron desde finales del siglo pasado, y a partir de éstos se implementaron normas o sugerencias de valores de los parámetros, dentro de los cuales el ser humano siente comodidad. Los conceptos listados anteriormente resultan muy importantes para fijar las estrategias de diseño térmico de una vivienda o cualquier otro espacio. Por consiguiente como primer punto analizaremos las condiciones climáticas en donde se realizó el experimento, en este caso la ciudad de México.

Actualmente la zona metropolitana de la ciudad de México cuenta con una superficie aproximada de 1,500 km², en su mayor parte presenta un clima templado. “El verano es fresco, lluvioso y prolongado, mientras que el invierno es seco con lluvias escasas; se presenta poca oscilación anual y el clima es de tipo Ganges” (Fuentes, 2000, pág. 204). De acuerdo a los datos de la estación del observatorio meteorológico de Tacubaya, su clasificación según Koppen-García es Cb(w1)w(i')g. En cuanto a su agrupación bioclimática se considera semifrío, ya que la temperatura media del mes más caluroso es menor a 21°C y su precipitación pluvial anual se encuentra entre 650 y 1000 mm.

Con los días grado (fig. 78), podemos determinar cuando son necesarios los requerimientos de calentamiento y enfriamiento a lo largo del año. De acuerdo a los días grado, en la ciudad de México la mayor parte del año se tienen requerimientos de calentamiento con excepción en los meses de abril y mayo donde por el contrario, se necesita enfriamiento, el resto del año se requiere de calentamiento.

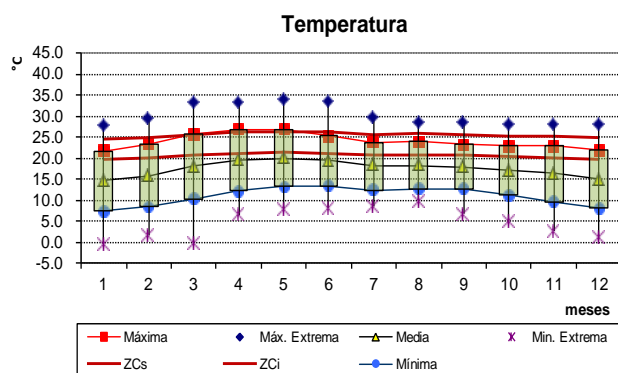


Fig. 77. Gráfica que muestra la temperatura de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

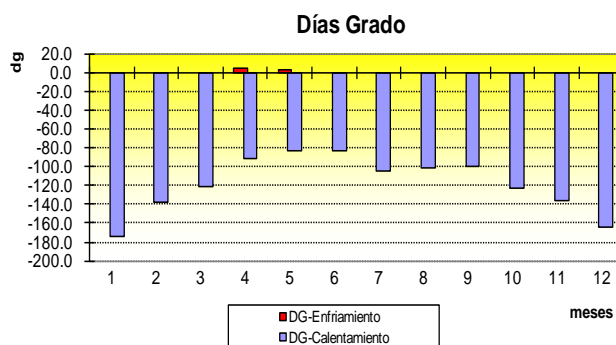


Fig. 78. Gráfica que muestra los días grado de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

El análisis de las temperaturas horarias anual muestra que se tienen condiciones de confort el 29.86 % del tiempo. En la época calurosa que va del mes de marzo a mayo el confort está comprendido entre las 12 y las 20 horas, sin embargo se presenta temperaturas por arriba de confort entre las 14 y las 17 horas, las cuales representan solo el 2.78 % del tiempo. Mientras que en diciembre solo se presentan 4 horas de confort y en enero 5 horas de confort (entre las 14 y 18 horas), las temperaturas que están por debajo del confort representan el 67.36 % del tiempo (fig. 79).

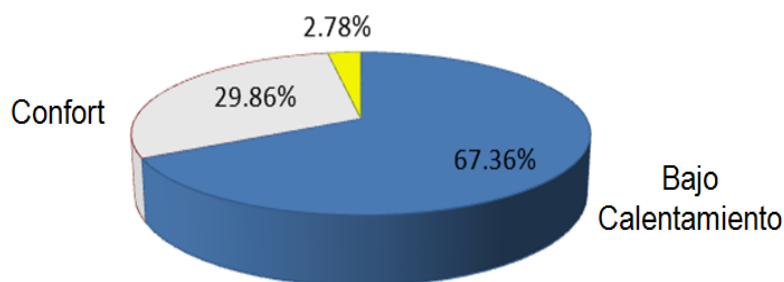


Fig. 79. Gráfica que muestra el % de confort que hay en la ciudad de México a lo largo del año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11.0 | 9.8 | 8.8 | 8.0 | 7.6 | 7.4 | 7.8 | 9.1 | 11.0 | 13.4 | 15.9 | 18.2 | 20.1 | 21.3 | 21.7 | 21.5 | 21.1 | 20.4 | 19.4 | 18.2 | 16.9 | 15.4 | 13.9 | 12.4 |
| 12.2 | 10.9 | 9.9 | 9.1 | 8.7 | 8.5 | 8.9 | 10.2 | 12.2 | 14.5 | 17.1 | 19.6 | 21.6 | 22.9 | 23.4 | 23.2 | 22.7 | 22.0 | 20.9 | 19.6 | 18.2 | 16.6 | 15.0 | 13.6 |
| 14.3 | 13.0 | 11.9 | 11.1 | 10.6 | 10.4 | 10.9 | 12.2 | 14.3 | 16.8 | 19.5 | 21.9 | 23.9 | 25.2 | 25.7 | 25.5 | 25.1 | 24.3 | 23.2 | 21.9 | 20.5 | 19.0 | 17.4 | 15.8 |
| 16.0 | 14.7 | 13.7 | 12.9 | 12.5 | 12.3 | 12.7 | 14.0 | 16.0 | 18.4 | 20.9 | 23.2 | 25.1 | 26.4 | 26.8 | 26.6 | 26.2 | 25.4 | 24.4 | 23.2 | 21.9 | 20.4 | 18.9 | 17.4 |
| 16.6 | 15.5 | 14.5 | 13.8 | 13.3 | 13.2 | 13.6 | 14.8 | 16.6 | 18.8 | 21.2 | 23.4 | 25.2 | 26.4 | 26.8 | 26.7 | 26.2 | 25.5 | 24.6 | 23.4 | 22.1 | 20.7 | 19.3 | 17.9 |
| 16.5 | 15.5 | 14.6 | 14.0 | 13.6 | 13.5 | 13.9 | 14.9 | 16.4 | 18.4 | 20.4 | 22.3 | 23.9 | 24.9 | 25.3 | 25.2 | 24.8 | 24.2 | 23.3 | 22.4 | 21.2 | 20.0 | 18.8 | 17.6 |
| 15.4 | 14.4 | 13.6 | 13.0 | 12.6 | 12.5 | 12.8 | 13.9 | 15.4 | 17.3 | 19.2 | 21.0 | 22.5 | 23.5 | 23.8 | 23.7 | 23.3 | 22.7 | 22.0 | 21.0 | 20.0 | 18.9 | 17.7 | 16.5 |
| 15.5 | 14.6 | 13.8 | 13.2 | 12.8 | 12.7 | 13.0 | 14.0 | 15.5 | 17.3 | 19.3 | 21.1 | 22.6 | 23.6 | 23.9 | 23.8 | 23.4 | 22.8 | 22.0 | 21.1 | 20.0 | 18.9 | 17.7 | 16.6 |
| 15.4 | 14.5 | 13.7 | 13.2 | 12.8 | 12.7 | 13.0 | 13.9 | 15.3 | 17.1 | 18.9 | 20.6 | 22.1 | 23.0 | 23.3 | 23.2 | 22.8 | 22.3 | 21.5 | 20.7 | 19.6 | 18.6 | 17.4 | 16.4 |
| 14.2 | 13.2 | 12.3 | 11.7 | 11.3 | 11.2 | 11.6 | 12.6 | 14.2 | 16.1 | 18.2 | 20.0 | 21.6 | 22.6 | 22.9 | 22.8 | 22.4 | 21.8 | 21.0 | 20.0 | 19.0 | 17.8 | 16.6 | 15.3 |
| 13.0 | 11.9 | 11.0 | 10.3 | 9.8 | 9.7 | 10.1 | 11.2 | 13.0 | 15.2 | 17.4 | 19.6 | 21.4 | 22.5 | 22.9 | 22.8 | 22.3 | 21.6 | 20.7 | 19.6 | 18.3 | 17.0 | 15.6 | 14.3 |
| 11.6 | 10.4 | 9.4 | 8.7 | 8.3 | 8.1 | 8.5 | 9.7 | 11.5 | 13.8 | 16.2 | 18.4 | 20.3 | 21.5 | 21.9 | 21.7 | 21.3 | 20.6 | 19.6 | 18.5 | 17.1 | 15.7 | 14.3 | 12.9 |
| 14.3 | 13.2 | 12.3 | 11.6 | 11.2 | 11.0 | 11.4 | 12.5 | 14.3 | 16.4 | 18.7 | 20.8 | 22.5 | 23.6 | 24.0 | 23.9 | 23.5 | 22.8 | 21.9 | 20.8 | 19.6 | 18.2 | 16.9 | 15.5 |

Fig. 80. Tabla que muestra las temperaturas horarias durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

La zona de confort para la ciudad de México se encuentra entre los 20.5 °C y 25.5 °C, por lo tanto las condiciones del clima de ésta son aptas para el dispositivo hidrónico solar de calefacción ya que la mayor parte de los meses del año se tienen requerimientos de calentamiento, como se observa en la figura 80, con excepción de los meses de marzo a mayo donde es necesario enfriar para llegar al confort térmico.

La temperatura de confort se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$ZC = T_n + 2.5^{\circ}C \dots\dots\dots(22)$$

Dónde:

$$T_n = 17.6 + (0.31 * T_{med} \dots\dots\dots(23)$$

T_n = Temperatura neutra

T_{med} = Temperatura media anual

Z_c = Zona de confort

Partiendo del análisis climático de la ciudad de México se tomaron parámetros para calcular y diseñar un dispositivo de calefacción por piso radiante. El cual debe de ser viable en términos técnicos y económicos.

8.2. CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO EXPERIMENTAL

Tomando como punto de partida el análisis climático de la ciudad de México y el cálculo del piso radiante, se realizó el estudio térmico del espacio correspondiente localizado en la ciudad, en el cual se implementó un sistema de piso radiante hidrónico alimentado con un colector solar de tubos evacuados. El prototipo consta de un módulo de 1.22 m de ancho por 2.44 m de largo y 2.44 m de altura, con paredes y techo de panel de yeso al interior y placas de durock al exterior, cuenta con aislante de fibra de vidrio de 3 cm de espesor entre las dos placas, finalmente, el modelo se recubrió con impermeabilizante de color blanco (fig. 81).

En dicho módulo se implementó un sistema de piso radiante, el cual se calculó previamente. El sistema de piso radiante se compone de un serpentín de tubos de polietileno uniformemente repartido y ahogados en el mortero a 3 cm de la superficie, por los cuales circula el agua a una temperatura de entre 40 a 50° C. Esta agua cede calor al mortero del piso y éste a su vez lo transmite al ambiente interior del espacio (fig. 87).

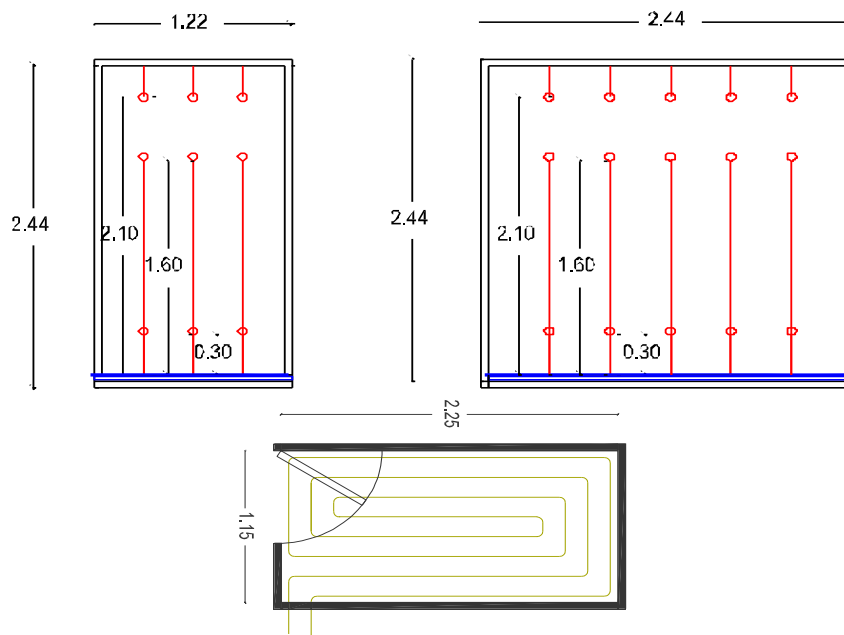


Fig. 81. Imagen que muestra la configuración del módulo, sus medidas y el serpentín de polietileno del piso radiante



Fig. 82. Imagen que muestra el proceso constructivo del módulo, en él se pueden observar los materiales con los que está construido



Fig. 83. Imagen que muestra el proceso constructivo del módulo, se puede observar el aislante que lleva entre las placas de cemento



Fig. 84. Imagen que muestra el módulo experimental en la parte exterior, se puede apreciar el recubrimiento con impermeabilizante de color blanco

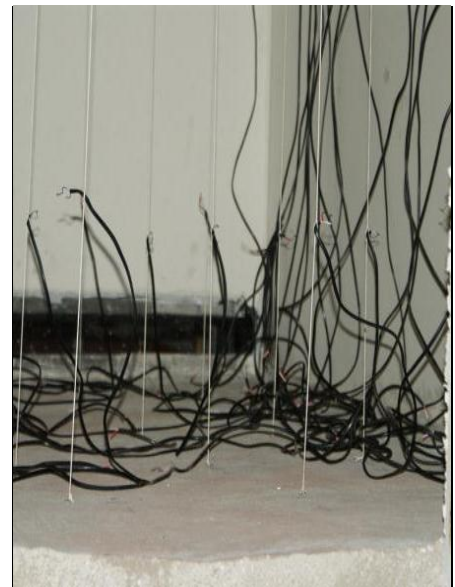


Fig. 85. Imagen que muestra el módulo experimental y los termopares con los que se medirán las temperaturas interiores



Fig. 86. Imagen que muestra el módulo experimental terminado en el que se realizarán las mediciones de temperatura, así, como el colector solar.



Fig. 87. Imagen que muestra la configuración del piso radiante, materiales y los termopares con los cuales se hicieron las mediciones de las temperaturas

Este módulo se construyó con el objetivo de monitorear el comportamiento térmico del espacio interior, y para analizar la transferencia de calor que se lleva a cabo por el sistema de piso radiante. Para monitorear las temperaturas se colocaron termopares a 3 diferentes alturas, 0.30 m, 1.60 m y 2.10 m con el fin de observar el comportamiento térmico del espacio a estas alturas, también se instalaron termopares ahogados dentro del serpentín, para tomar lectura de la temperatura del agua que corre por el tubo de polietileno. Finalmente se pusieron termopares en la superficie del mortero, para ver cuál es la temperatura que este alcanza (fig. 85).

8.3. PRIMER PERIODO DE EVALUACIONES

Se realizaron dos periodos de pruebas, el primer periodo fue en la época de mayor temperatura en la ciudad de México, el cual correspondió del 19 de mayo de 2010 al 7 de julio de 2010, en este periodo se realizaron las pruebas con el piso radiante en funcionamiento solo en la noche ya que durante el día no se necesitaba dicho aporte de energía para mantener una temperatura interior de entre 20.5 a 25.5 °C que es la temperatura de confort para la ciudad de México.

En el primer periodo de monitoreo se llevaron a cabo dos pruebas; en la primera se realizaron mediciones con el dispositivo de calefacción apagado, es decir, el sistema estuvo sin flujo de agua caliente, esto durante 5 días con el objetivo de conocer las temperaturas interiores del prototipo sin el aporte de energía del piso radiante para obtener los requerimientos de calentamiento de dicho espacio.

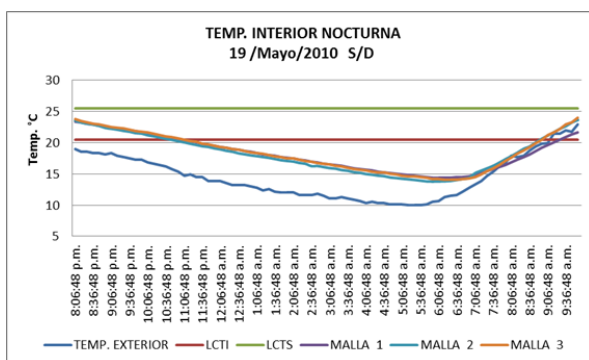


Fig. 88. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

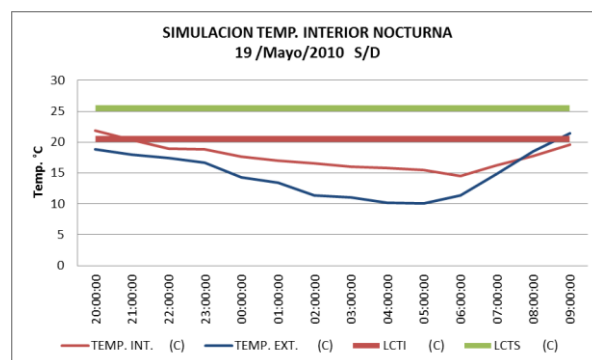


Fig. 89. Imagen que muestra la simulación de las temperaturas interiores del módulo, así como la temperatura exterior

La figura 88 muestra las temperaturas interiores dentro del módulo, si lo comparamos con las simulación realizada con el software Autodesk Ecotect Analysis (fig. 89) podemos ver que las temperaturas interiores de la simulación son muy similares, ya que tienen una diferencia mínima de 1°C a 2°C en algunas horas de la noche y en la mayoría de las horas las temperaturas coinciden. Esto nos da un parámetro de la exactitud de la simulación que se realizó al módulo. Tomando como base estos datos podemos tener un punto de comparación entre el módulo con el dispositivo de calefacción en funcionamiento y la simulación del módulo sin el dispositivo de calefacción. Por medio de la comparación podremos observar la diferencia de temperaturas interiores que se logra con el aporte de calor del piso radiante y las temperaturas interiores del módulo sin el aporte de calor de éste.

A través de la simulación térmica realizada podemos conocer las pérdidas de energía que hay en el módulo (fig. 90), estas pérdidas ascienden a 160 Watts en el punto más crítico, que es a las 6 am, es decir, que el sistema de piso radiante debe de suministrar esas pérdidas de energía para

poder llegar a una temperatura operativa de 20 °C siendo una temperatura adecuada para el confort humano según el ASHRAE.

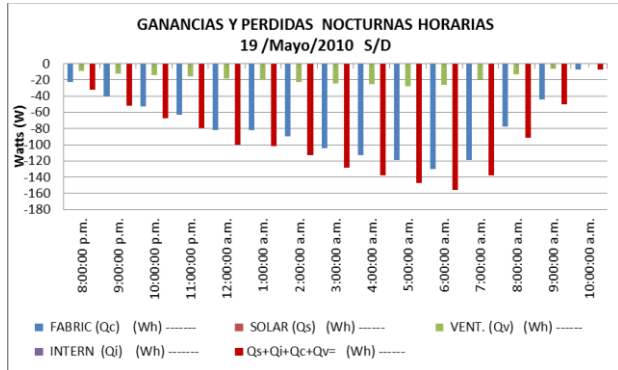


Fig. 90. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

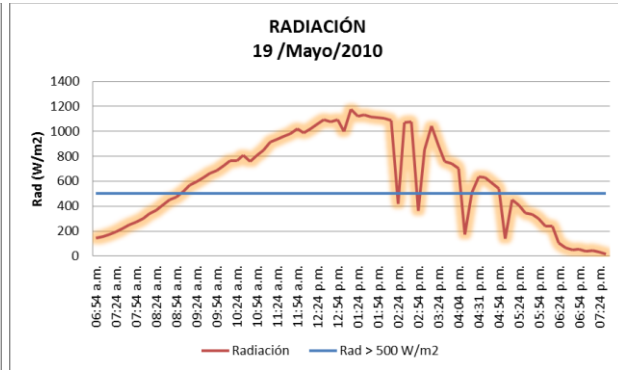


Fig. 91. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente que influyen en el comportamiento del colector sol

Las gráficas muestran el comportamiento de las temperaturas interiores del módulo, así como la temperatura ambiente. En este periodo se midieron las temperaturas a 3 diferentes alturas dentro del modelo, en cada altura se colocaron 12 termopares que forman una maya, se hizo un promedio de las 12 temperaturas de cada una de las mayas, la primera maya se encuentra a una altura de 30 cm por arriba del piso. En esta se puede observar (fig. 92) la temperatura interior (15 °C a 20 °C) que se encuentra por debajo de la zona de confort, lo que nos indica requerimientos de calentamiento. En la segunda maya de termopares, la cual esta a una altura de 1.60 m por arriba del piso, se observan los requerimientos de calentamiento ya que las temperaturas descienden hasta los 13 °C a partir de las 5 am. En la tercer maya de termopares la cual esta a una altura de 2.10 m, se observa que el comportamiento de las temperaturas es muy similar al de las mayas anteriores, es decir, están muy por debajo de confort. Es evidente que en el interior del módulo hay temperaturas muy por debajo del rango de confort (20.5 °C a 25.5 °C) a pesar de ser la temporada más calurosa en la ciudad de México. Analizando el comportamiento de la temperatura ambiente, tenemos que esta oscila entre los 18 °C y los 12 °C, esto desde las 8:00 pm hasta las 6:00 am. (fig. 92). Esto significa que el módulo está cediendo energía al ambiente exterior, debemos recordar que el calor fluye de un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura.

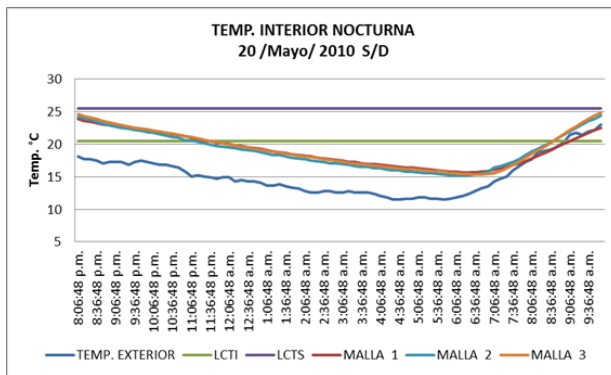


Fig. 92. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

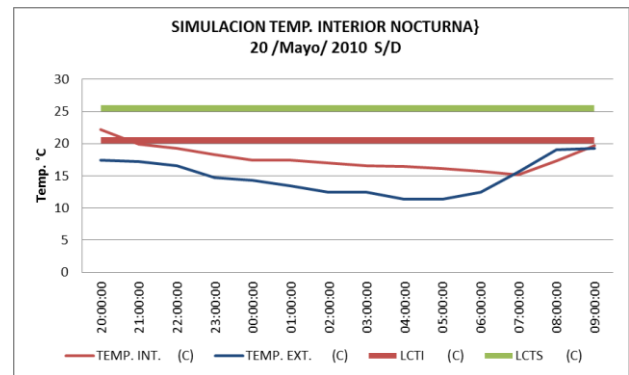


Fig. 93. Muestra la simulación de las temperaturas interiores del módulo, y la temperatura exterior, se observa que estas están por debajo de confort

La figura 94 muestra el balance térmico del módulo experimental, éste nos indica que las pérdidas van de los 30 watts alrededor de las 8.00 pm y llegan hasta los 155 watts a las 6:00 am. Podemos observar que las pérdidas de energía del día 20 de mayo tienen una gran similitud con las del día 19, 22 y 23 de mayo, es decir, las pérdidas horarias y diarias son similares debido a que las condiciones climáticas de estos 5 días son parecidas en cuanto a temperatura, humedad y radiación solar incidente.

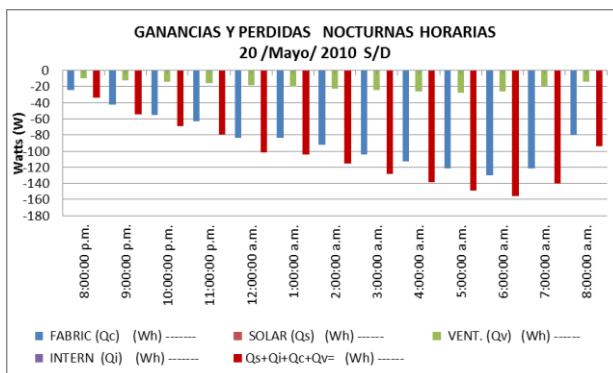


Fig. 94. Gráfica que muestra las pérdidas de energía del módulo obtenidas del balance térmico

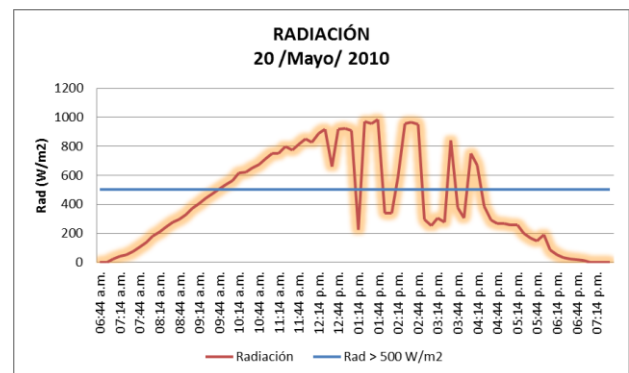


Fig. 95. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 20 de mayo de 2010

Para el día 21 de mayo de 2010 (fig. 96) encontramos que la temperatura al interior del módulo esta por debajo del rango de confort en la mayor parte de día, si comparamos las condiciones

térmicas del módulo y de la simulación realizada con el software vemos que son muy similares (fig. 96 y 97).

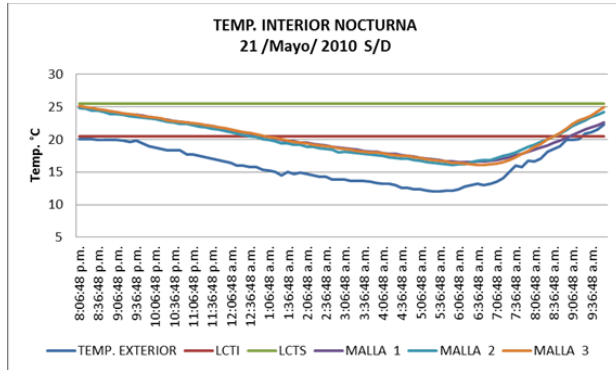


Fig. 96. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares

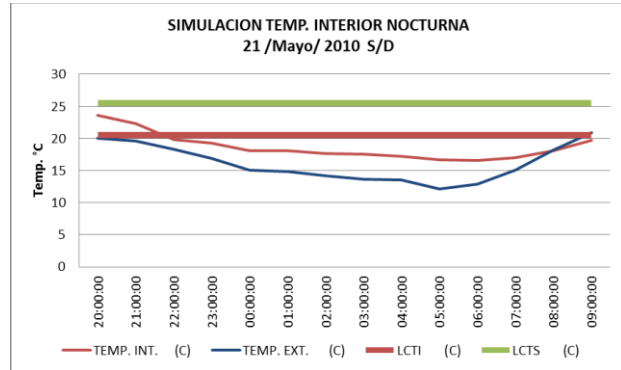


Fig. 97. Imagen que muestra la simulación de las temperaturas interiores del módulo experimental

En el balance térmico del día 21 de mayo de 2010 (fig. 98) observamos que las pérdidas de energía ascienden a los 167 watts en su punto más crítico que es a las 6:30 am, este comportamiento térmico dentro del módulo sigue el mismo patrón que los días anteriores, debido a las condiciones climáticas que son muy similares.

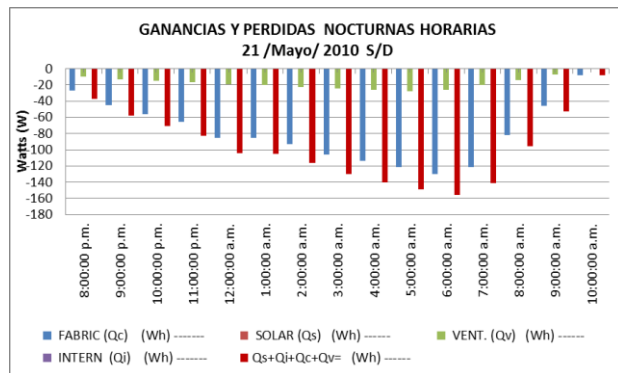


Fig. 98. Gráfica que muestra las pérdidas de energía del módulo obtenidas del balance térmico

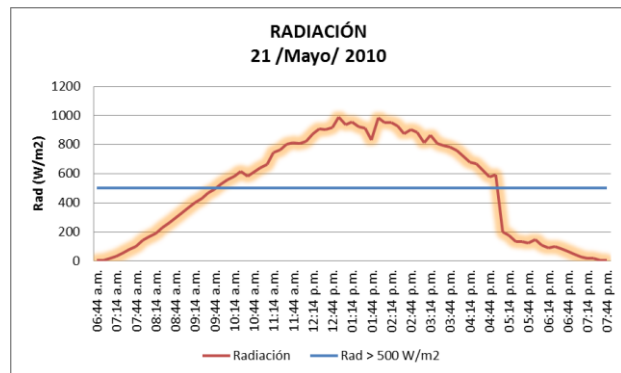


Fig. 99. Imagen que muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 21 de mayo de 2010

Una factor determinante para que ocurra esta similitud es la radiación solar incidente, analizando las gráfica de radiación solar (fig. 99) que se obtuvieron por medio de las mediciones diarias, observamos que son muy similares, ya que a partir del día 19 de mayo de 2010 (fig. 91) y hasta el 23 de mayo de 2010 (fig. 107), la radiación es alta desde las 9:00 am hasta las 5:00 pm

sobrepasando los 500 W/m² y en las horas del mediodía sobrepasa los 950 W/m², es decir que existen condiciones muy similares en cuanto a radiación entre estos cinco días, lo cual nos permite hacer una comparación entre éstos, ya que un factor que interviene directamente en las temperaturas interiores del módulo experimental son las ganancias solares directas y por conducción. Por otro lado, es importante conocer la intensidad de la radiación solar incidente, ya que es la principal fuente de energía del piso radiante que se implementó en el módulo experimental.

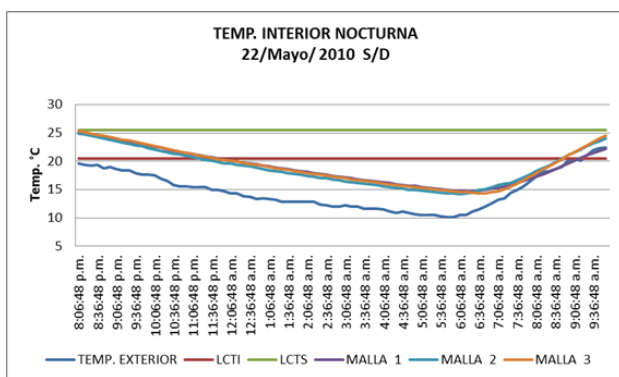


Fig. 100. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior

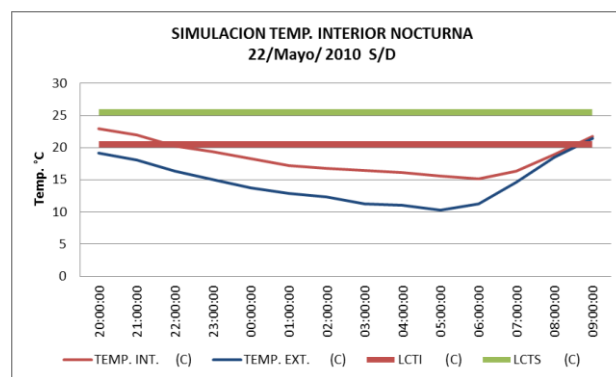


Fig. 101. Imagen que muestra la simulación de las temperaturas interiores del módulo experimental. También se observa la temperatura exterior

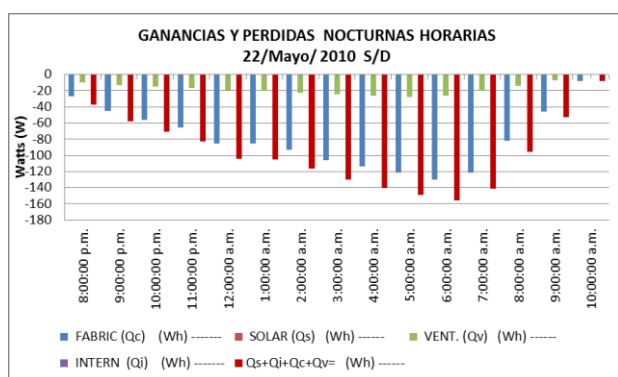


Fig. 102. Imagen que muestra el balance térmico del día 22 de mayo de 2010

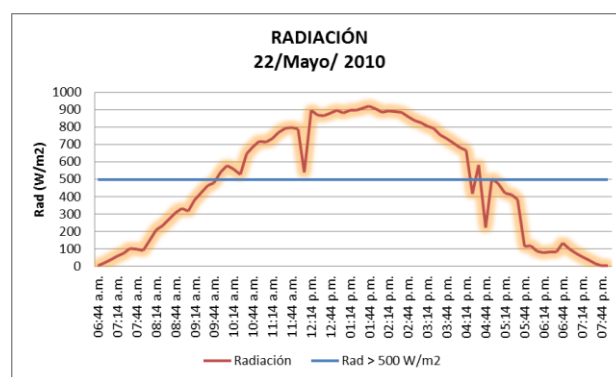


Fig. 103. Imagen que muestra la radiación solar incidente del día 22 de mayo de 2010

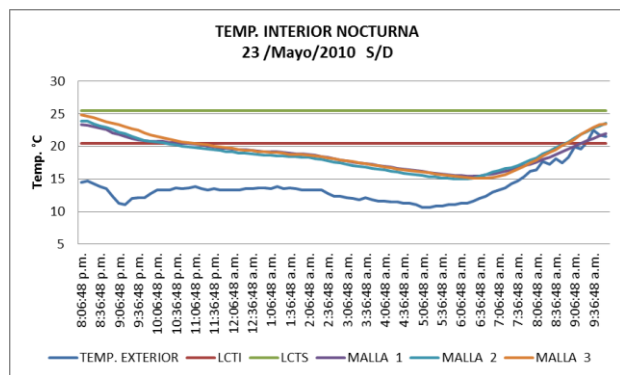


Fig. 104. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior

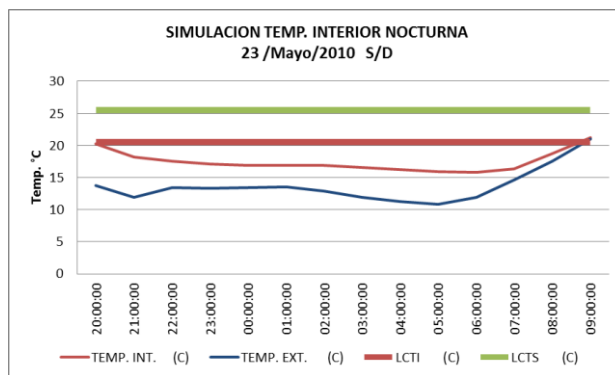


Fig. 105. Imagen que muestra la simulación de las temperaturas interiores del módulo experimental. También se observa la temperatura exterior

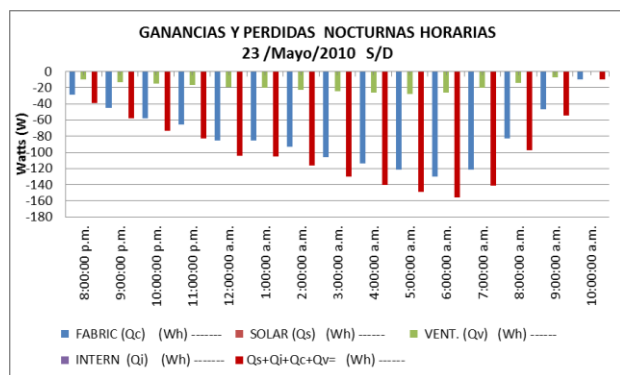


Fig. 106. Imagen que muestra el balance térmico del día 23 de mayo de 2010, se puede apreciar que las pérdidas de energía ascienden a los 160 w

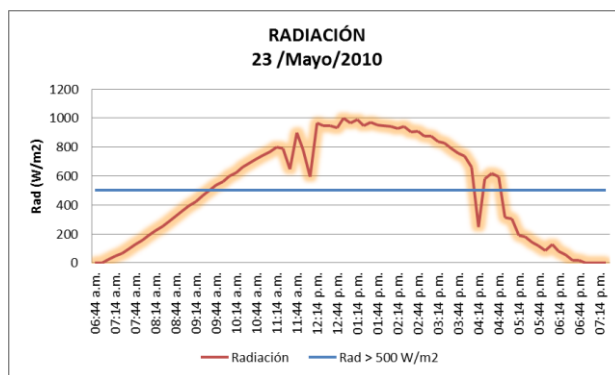


Fig. 107. Imagen que muestra la radiación solar incidente del día 23 de mayo de 2010

Es importante establecer un punto de comparación sólido que otorgue veracidad a la eficiencia del piso radiante. Anteriormente se realizó un punto de comparación entre días similares en cuanto a condiciones climáticas, por ende, las condiciones térmicas del módulo deben de ser muy similares en los días en que las condiciones climáticas son parecidas. Sin embargo, es importante establecer otro punto de comparación, lo ideal sería contar con dos módulos con las mismas características y en las mismas condiciones climáticas, para lograr esto, se realizó una simulación térmica del módulo experimental, tomando en cuenta las características de los materiales del modelo real, así como las condiciones climáticas en las que se encuentra dicho módulo, estos

datos fueron obtenidos de las mediciones realizadas en el sitio, en donde se obtuvieron datos de temperatura ambiente, temperaturas dentro del módulo y radiación solar incidente. Los datos de húmedas relativa fueron tomados de las normales climatológicas del observatorio de Tacubaya. La simulación térmica se llevó acabo con el software Autodesk Ecotec Analisis, este software fue alimentado con los datos obtenidos de las mediciones realizadas en el sitio.

Debido a que no contamos con dos módulos para compararlos entre sí, uno con el piso radiante en funcionamiento y otro sin el aporte del piso radiante, se realizó un módulo virtual el cual nos mostró el comportamiento térmico del módulo sin el aporte del piso radiante. Para mostrar que la simulación térmica del módulo es veraz, se hizo una comparación entre el módulo virtual y el módulo real.

A continuación se muestra la comparación entre la simulación térmica del módulo y el comportamiento térmico del módulo real, en donde se tomaron distintos días del mes de mayo y junio, con el objetivo de demostrar la exactitud de la simulación térmica y establecerla como punto de comparación principal, y así, identificar cual es el aporte de energía que brinda el piso radiante.

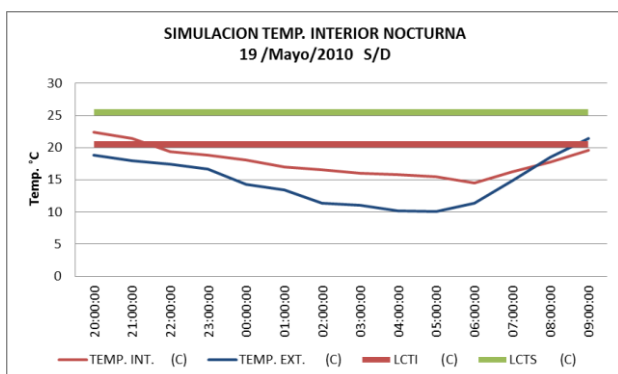


Fig. 108. muestra la simulación de la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior

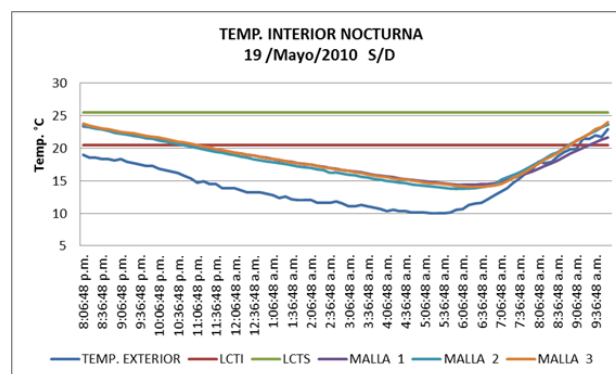


Fig. 109. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior

El primer punto de comparación se realizó para el día 19 de mayo de 2010, en la fig. 109 Se puede observar que la temperatura exterior ambiente está muy por debajo del rango de confort, esto sucede de las 8:00 pm a las 9:00 am, este horario será el establecido para realizar las pruebas del dispositivo de calefacción en la época calurosa, podemos observar que la temperatura exterior

se encuentra en 18 °C a las 8:00 pm y descienden hasta los 10 °C a las 5:30 am. En cuanto a la temperatura interior se observa que a las 8:00 pm está en 23 °C y desciende hasta los 14° alrededor de las 6:00 am. Si comparamos estos datos con los obtenidos de la simulación térmica del módulo (fig. 109), encontramos un comportamiento muy similar, ya que solo en algunas horas hay diferencia de temperaturas de 1 °C a 2 °C, esto puede deberse a que los datos de temperatura del módulo real son cada 10 minutos y las temperaturas de la simulación se establecen en un promedio por hora.

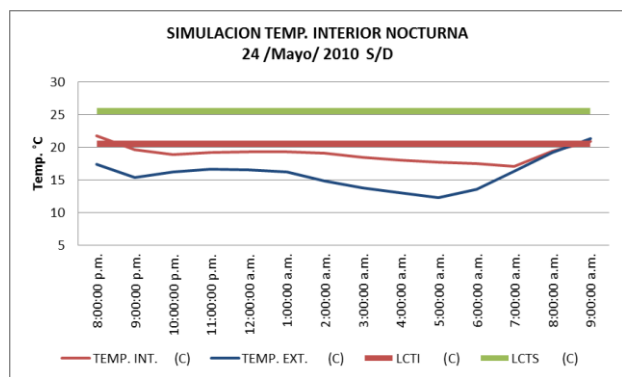


Fig. 110. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior obtenidas de la simulación térmica

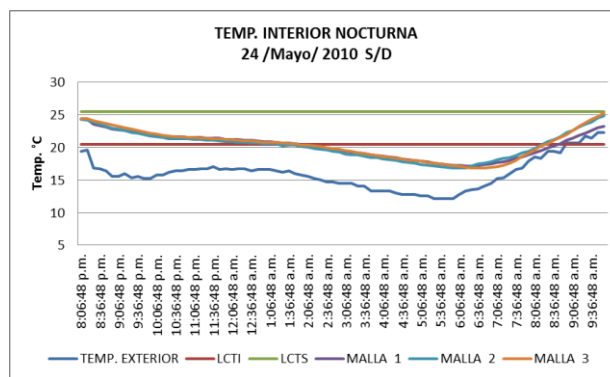


Fig. 111. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 24 de mayo de 2010. S/D

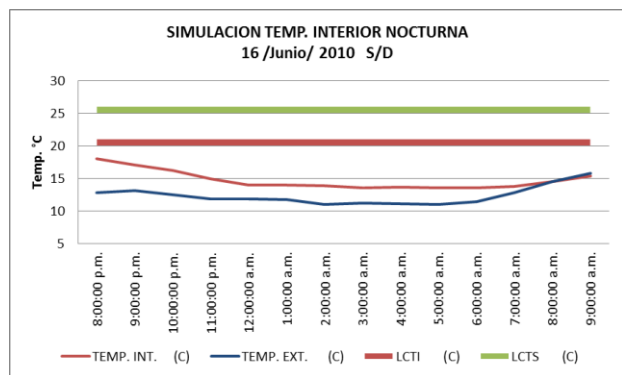


Fig. 112. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior obtenidas de la simulación térmica

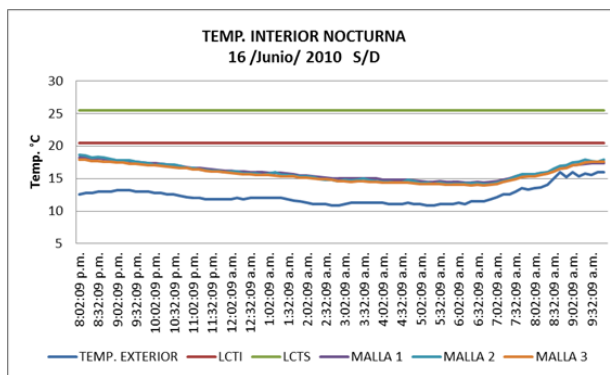


Fig. 113. Imagen que muestra las temperaturas interiores, así como la temperatura exterior del día 16 de junio de 2010. S/D

Como se observa en la figura 114 y 115 la temperatura interior de la simulación térmica y del módulo son muy similares y con muy poca oscilación entre ambas, en algunas horas las diferencias son de 1 °C a 2 °C; un punto importante en esta comparación es que las mediciones del módulo real son a cada 10 minutos y están representadas en la gráfica de esta forma, y en la simulación térmica las temperaturas están representados a cada hora, es por eso que hay variaciones en algunas horas de las temperaturas, tanto interiores como exteriores, sin embargo comparando las dos gráficas vemos que el comportamiento térmico entre los dos módulos, el virtual y el real son casi idénticos.

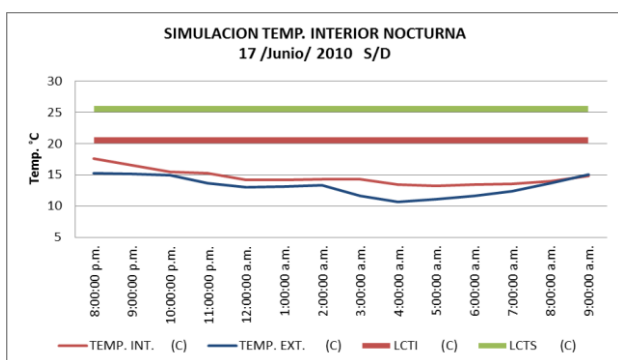


Fig. 114. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior

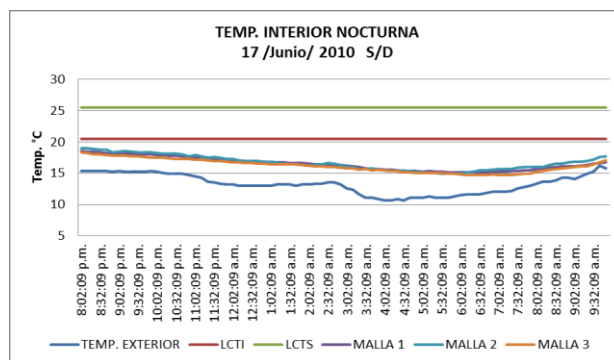


Fig. 115. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior. S/D

Para el día 19 de junio observamos que las temperaturas interiores registradas en el módulo real (fig. 116), son muy similares a las de la simulación térmica (fig. 117), esto nos permite establecer a la simulación térmica como punto de comparación sólido, entre el módulo sin el aporte del piso radiante y el módulo con el aporte de calor que brinda el piso radiante.

Una vez que fijamos un punto de comparación sólido podemos hacer el análisis del desempeño del piso radiante, en principio haremos la comparación del módulo con el dispositivo de piso radiante contra el módulo sin dispositivo de calefacción, el objetivo es ver a cuánto asciende la temperatura interior del módulo usando el dispositivo de piso radiante y de esta forma hacer la comparación de las condiciones interiores con el piso radiante y sin éste.

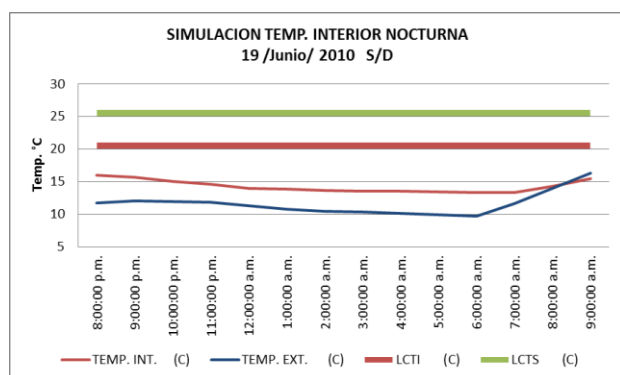


Fig. 116. Muestra la temperatura interior del módulo y la temperatura exterior obtenidas de la simulación térmica

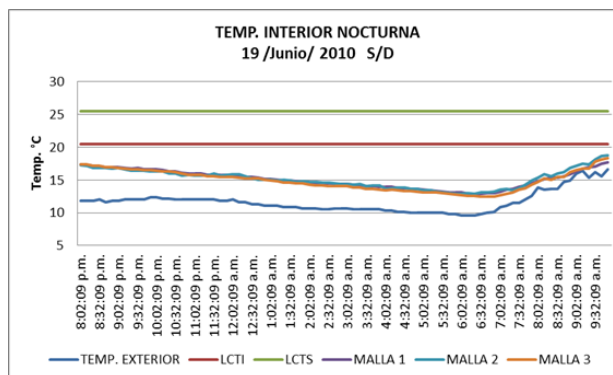


Fig. 117. Muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares y la temperatura exterior del día 19 de junio de 2010. S/D

En la segunda etapa de este primer periodo de monitoreo se puso en funcionamiento el dispositivo de calefacción. Éste se realizó durante 30 días más, pero con el dispositivo de piso radiante en funcionamiento, se hicieron mediciones de las temperaturas a tres diferentes alturas dentro del módulo tal como se hizo en la primera fase de las mediciones, registrando también la temperatura ambiente. El objetivo es comparar las temperaturas interiores de los dos módulos y ver la eficiencia del dispositivo de piso radiante.

A continuación presentaremos los casos más representativos de los 30 días de mediciones, los demás días se presentan en una comparación gráfica entre las condiciones térmicas interiores del módulo real y la simulación térmica, en esta comparación se incluyen los datos de radiación solar incidente y el balance térmico para cada día, esto con el fin de conocer a cuánto ascienden las pérdidas horarias de energía. Como punto final es importante conocer cuál es el aporte en watts del piso radiante y para ello se realizó el cálculo de la tasa de transferencia de calor en watts que aporta el piso radiante para conocer si las pérdidas de energía del módulo pueden ser cubiertas por el piso radiante y, además ver si es capaz de aportar la energía necesaria para mantener un rango de confort dentro del módulo.

Comenzando con el análisis térmico del módulo encontramos que para el día 01 de junio el piso radiante logró elevar las temperaturas interiores y llevarlas hasta la zona de confort. Si comparamos la temperatura ambiente con las temperaturas interiores vemos que la temperatura

ambiente está muy por debajo de la zona de confort con temperaturas que van desde los 18 °C hasta los 13 °C en las últimas horas de la madrugada (fig. 118).

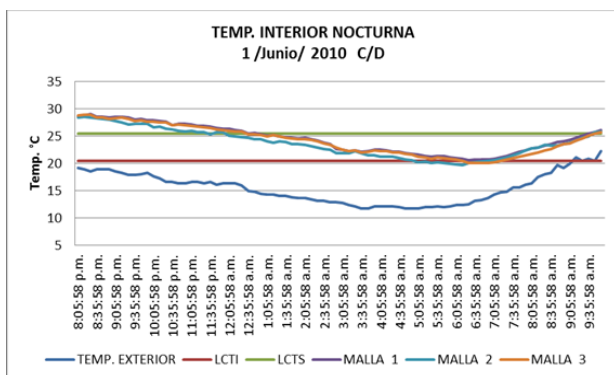


Fig. 118. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 1 de junio de 2010

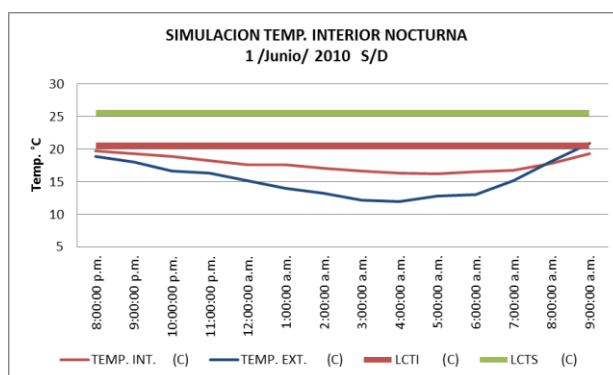


Fig. 119. Imagen que muestra las temperaturas interiores de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 01 de junio de 2010

Observando la simulación térmica del módulo encontramos que el día 1 de junio de 2010 la temperatura exterior desciende hasta los 12 °C (fig. 119), esto nos indica que las condiciones exteriores están por debajo del rango de confort, las temperaturas al interior del módulo a partir de las 8:00 pm y hasta las 9:00 am del 2 de junio son bajas y descienden hasta los 16 °C, por lo tanto se requiere un aporte de calor para poder mantenerse en un rango de entre 20 °C y 25 °C.

En la figura 119 se muestran las mediciones de las temperaturas al interior del módulo con el sistema de piso radiante en funcionamiento, se observa que éste logró elevar la temperatura interior hasta el rango de confort (20.5 °C a 25.5 °C). En las primeras hora de funcionamiento del piso radiante (8:00 pm a 10:30 pm) la temperatura interior sobrepasó el rango de confort llegando hasta los 28 °C, esto quiere decir que existió un excedente de energía en estas horas, provocando que la temperatura interior se elevara por encima de los 25 °C. Es evidente que el sistema funcionó de manera eficiente, sin embargo el excedente de energía provocó que superáramos el rango de confort, es decir se transfirió más calor del necesario requerido.

El objetivo del piso radiante es poder cubrir las pérdidas de energía que el módulo tiene hacia el ambiente exterior. Para conocer las pérdidas de energía que se requieren suministrar es necesario

realizar un balance térmico del espacio a calentar, estas pérdidas serán cubiertas por el aporte de calor del piso radiante (fig. 120).

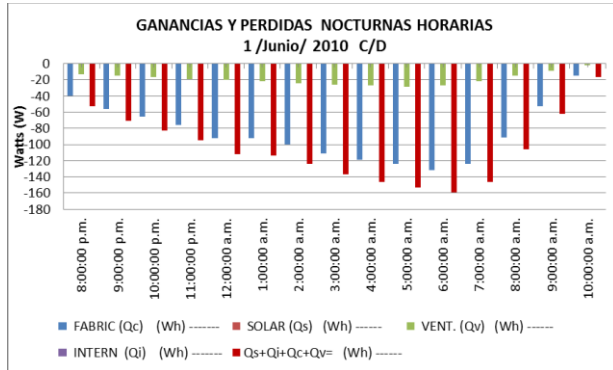


Fig. 120. Muestra el balance térmico nocturno del módulo para el día 1 junio, se puede apreciar que las pérdidas de energía llegan a los 160 W

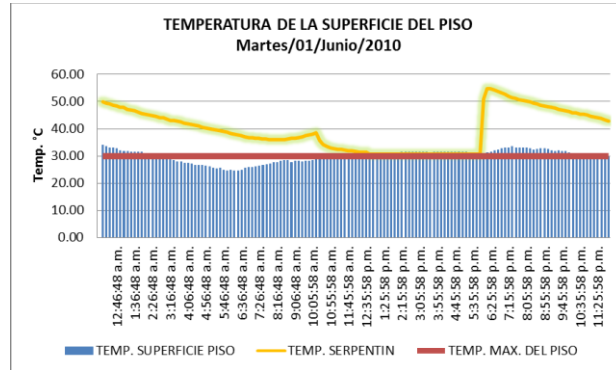


Fig. 121. Muestra la temperatura de la superficie del piso, así como la temperatura del agua que corre por el serpentín

Como sabemos el piso radiante esta alimentado por un colector solar de tubos evacuados, y éste a su vez capta la radiación solar calentando así el agua que corre por el serpentín del piso radiante, es por eso que el desempeño del sistema de calefacción depende directamente de la radiación solar incidente captada por el colector solar.

Si la radiación solar que incide sobre el colector solar es alta, este aumentara su desempeño y calentara el agua a mayor temperatura, en cambio si la radiación es baja el desempeño de colector bajara y la temperatura del agua descenderá, este es un factor importante del cual depende el desempeño del dispositivo de calefacción. Cuanta mayor temperatura del agua al interior del serpentín tengamos mayor transferencia de calor habrá al ambiente interior del módulo.

En la figura 122 podemos observar la transferencia de calor del piso radiante al ambiente interior del módulo; esta gráfica esta expresada en watts /hora, de esta forma podemos ver a cuánto asciende el calor en cada una de las horas en el que el dispositivo de calefacción está en funcionamiento. Analizando la gráfica de transferencia de calor (fig. 122) y la gráfica que nos muestra el balance térmico nocturno (fig. 120) del día 1 de junio de 2010, podemos observar que las pérdidas de energía del módulo ascienden a 50 W y la transferencia de calor esta sobre los 250 W, esto quiere decir que se están cubriendo las pérdidas y se están aportando más watts de

los requeridos para alcanzar una temperatura de confort. Este excedente de calor nos ayuda para ir aumentando la temperatura interior del módulo en las horas siguientes, ya que la transferencia de calor no se da de manera inmediata, si observamos la figura 118 vemos que la temperatura al interior del módulo supera los 25 °C, y es a causa del excedente de energía proporcionado por el piso radiante. Sin embargo en las horas siguientes, las pérdidas van aumentando y la energía transferida por el piso radiante va descendiendo debido a que la temperatura del agua va bajando, esto causa que la transferencia de calor se vaya nivelando con las pérdidas de energía, logrando así una temperatura de entre 20 °C y 25 °C, que es la temperatura base que se tomó para hacer el cálculo del piso radiante.

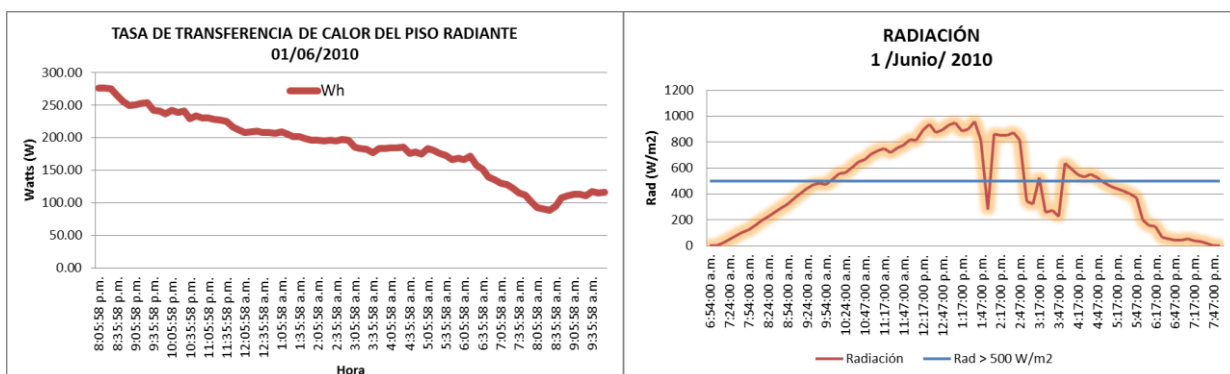


Fig. 122. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 1 junio de 2010

Fig. 123. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 1 junio de 2010.

En la figura 118 se puede observar que la temperatura interior del módulo sobrepasó el rango de confort de las 8:00 pm a 11:00 pm, y estuvo dentro de éste de las 11:00 pm hasta las 10:00 am, esto con ayuda del dispositivo de calefacción. Comparándolo con los resultados obtenidos con la simulación del módulo sin el dispositivo de calefacción, en donde la temperatura interior de las 8:00 pm hasta las 10:00 am se encuentra por debajo de los 18 °C y desciende hasta los 16 °C en las horas de la madrugada, nos indica claramente que el aporte de energía del piso radiante logra aumentar la temperatura al interior del módulo.

Para el día 9 de junio de 2010 la temperatura exterior oscila de los 18 °C a las 8:00 pm y hasta los 12 °C a las 6:00 am, es decir, está por debajo del rango de confort. En la figura 124 se observa que la temperatura al interior del módulo está por debajo de los 20 °C y desciende hasta los 15 °C a partir de las 6:00 am.

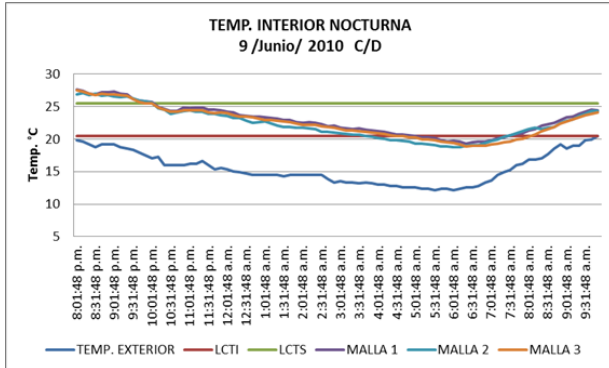


Fig. 124. Imagen que muestra la temperatura interior de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 9 de junio

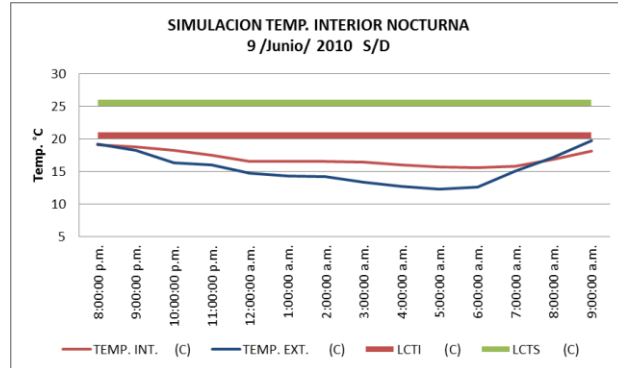


Fig. 125. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo obtenida de la simulación térmica para el día 9 de junio

Comparando las dos figuras (fig. 124 y fig. 125) encontramos que el aporte del piso radiante ayudó a aumentar la temperatura al interior del módulo, llevándola a un rango de entre 27 °C y 19 °C, esto nos indica que hubo un incremento de la temperatura interior de hasta 7 °C.

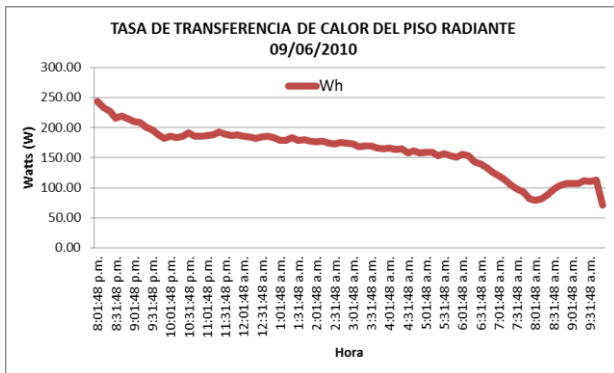


Fig. 126. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 9 junio de 2010

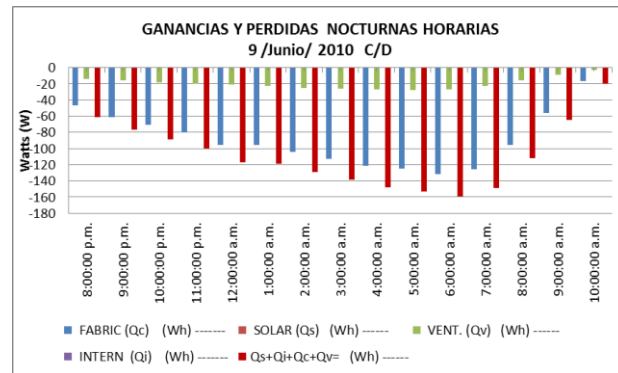


Fig. 127. Muestra las pérdidas horarias de energía del módulo para el día 9 junio del 2010

Es notorio como el sistema de piso radiante logró elevar la temperatura interior hasta llevarla al rango de confort, observando la figura 127 se puede ver que las pérdidas máximas de energía son a las 6:00 am con 160 W, por lo que el piso radiante debió de haber cubierto dichas pérdidas, esto lo podemos comprobar observando la figura 126 donde se muestra la tasa de transferencia de calor que fue suministrada por el piso radiante durante la noche del 9 de junio de 2010, en ella se observa que en las primeras horas de la noche se transfirieron más de 200 W. Sin embargo, pasando las 10:00 pm las transferencias de calor oscilaron entre los 160 W, lo cual fue suficiente para aumentar la temperatura al interior del módulo colocándolo dentro del rango de confort.

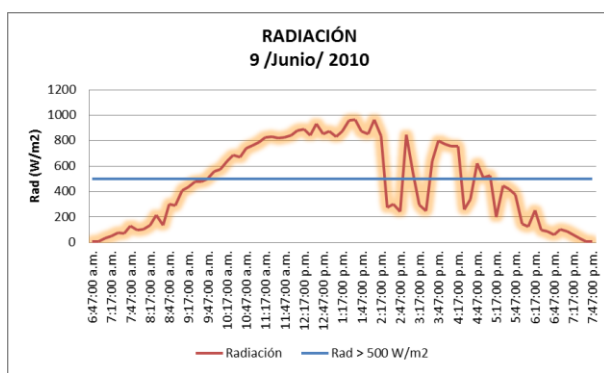


Fig. 128. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 9 junio del 2010

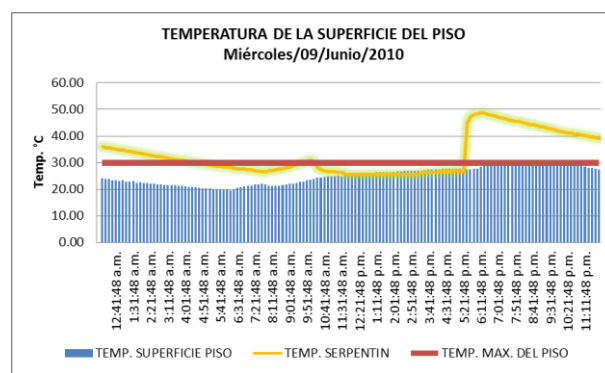


Fig. 129. Muestra la temperatura de la superficie del piso, así como la temperatura del agua que corre por el serpentín

Para que el piso radiante sea eficiente y pueda transferir calor de la misma manera es necesario contar con un buen nivel de radiación que incida sobre el colector solar. Para el día 9 de junio de 2010 la radiación superó los 600 W y en las horas del mediodía alcanzó los 900 W (fig. 128), que fueron suficientes para calentar el agua del termo tanque a una temperatura de entre 50 °C y 60 °C.

Para el día 15 de junio de 2010 encontramos que la temperatura exterior durante la noche se mantuvo por debajo de los 15°C y en algunas horas de la madrugada del 16 de junio descendió hasta los 11°C (fig.130), observando la simulación térmica (fig. 131) vemos que la temperatura al interior del módulo está en los 16 °C de las 8:00 pm a las 11:00 pm y desciende a los 15 °C el resto de la noche, lo cual nos indica que estamos muy por debajo del rango de confort en la ciudad de México.

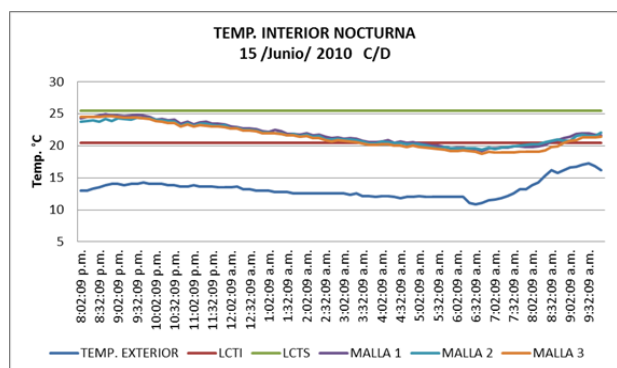


Fig. 130. Imagen que muestra la temperatura interior de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 15 de junio de 2010

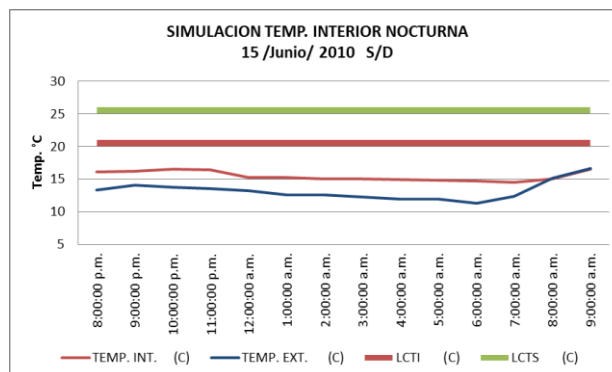


Fig. 131. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo obtenida de la simulación térmica para el día 15 de junio de 2010

Comparando la simulación térmica sin el dispositivo de calefacción con la temperatura al interior del módulo con el aporte de calor del piso radiante, se observa que este último eleva la temperatura interior de manera eficiente manteniéndola en un rango de 20 °C a 25 °C (fig. 130), lo cual es apto para el confort humano, esto pudo ser posible gracias a que la radiación solar incidente sobre el colector solar calentando el agua que corre por el serpentín del piso radiante. En cuanto a la radiación solar del día 15 de junio de 2010 encontramos que superó los 600 W y alcanzó los 1000 W en las horas del mediodía (fig. 132).

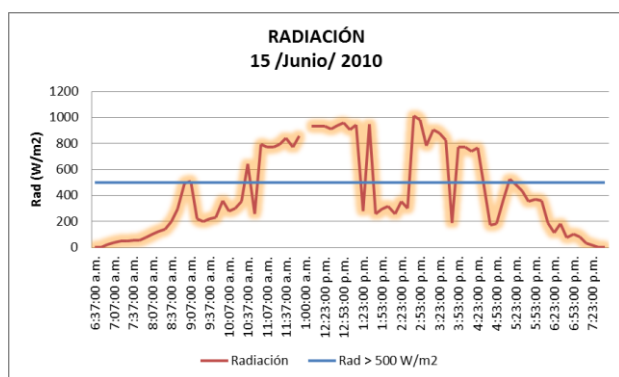


Fig. 132. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 15 junio del 2010

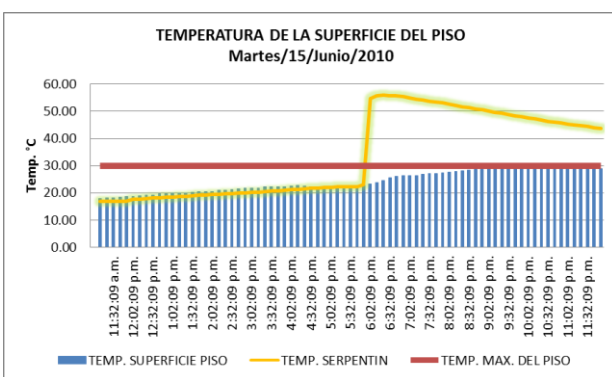


Fig. 133. Muestra la temperatura de la superficie del piso, y la temperatura del agua en el serpentín

Las pérdidas que se lograron compensar por el piso radiante se pueden observar en la figura 135 donde las pérdidas ascienden a los 160 W en su punto más crítico, que es a las 6:00 am de la

mañana, en cuanto al aporte de energía del piso radiante vemos que en las primeras hora de la noche existió un excedente de energía de hasta 350 W y conforme avanza la noche la energía transferida al piso radiante fue bajando hasta llegar a los 100 W, sin embargo esta energía transferida fue adecuada para mantener una temperatura al interior del módulo de 20 °C a 25 °C.

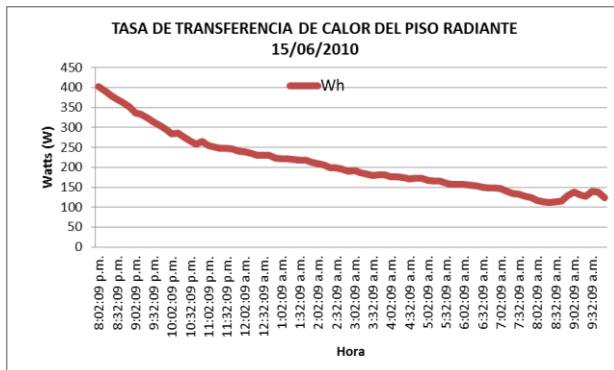


Fig. 134. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 15 de junio de 2010

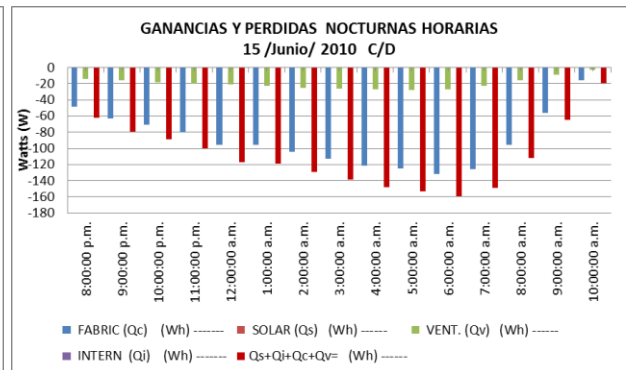


Fig. 135. Muestra las pérdidas horarias de energía del módulo para el día 15 de junio de 2010

Para el día 21 de junio de 2010 encontramos que la temperatura exterior está por debajo de los 15°C llegando en algunas horas de la madrugada hasta los 11 °C, vemos que la temperatura interior que apenas se mantiene en los 15 °C, es decir tanto la temperatura exterior como la temperatura al interior del módulo se encuentran muy por debajo del rango de confort (fig. 137).

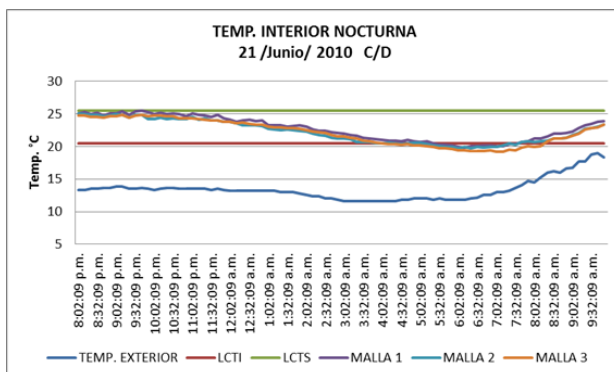


Fig. 136. Imagen que muestra la temperatura interior de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 21 de junio de 2010

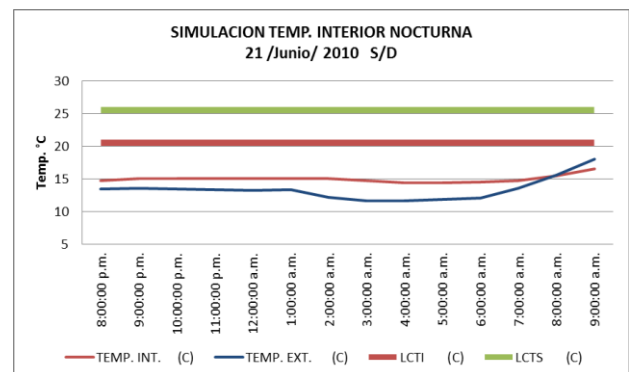


Fig. 137. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo obtenida de la simulación térmica para el día 21 de junio de 2010

En la figura 136 se observa como el dispositivo de calefacción logró elevar la temperatura interior hasta llevarla al rango de confort durante la noche del 21 de junio de 2010 y la madrugada de 22 de junio de 2010, esto quiere decir que las pérdidas nocturnas que ascendían a 155 W fueron cubiertas por el dispositivo de calefacción solar, esto se puede observar en la figura 138 donde se representa la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante. Una vez más se puede constatar que el piso radiante logró elevar la temperatura al interior de módulo y la radiación solar que incide sobre el colector solar fue la suficiente para alimentar al piso radiante.

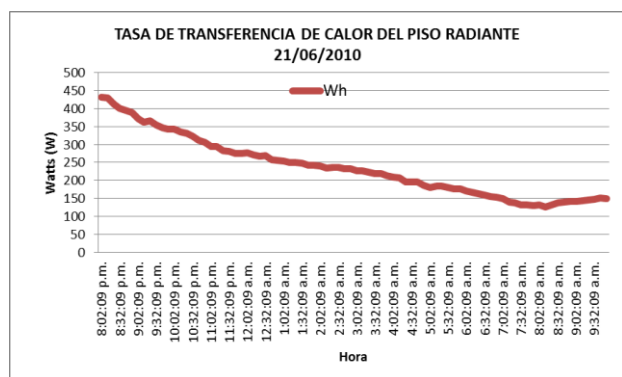


Fig. 138. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 21 junio de 2010

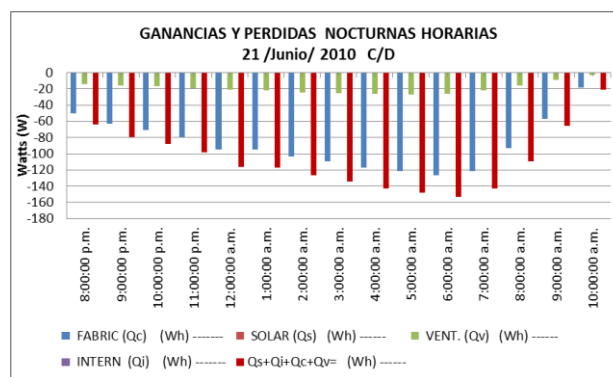


Fig. 139. Muestra las pérdidas horarias de energía del módulo para el día 21 junio de 2010

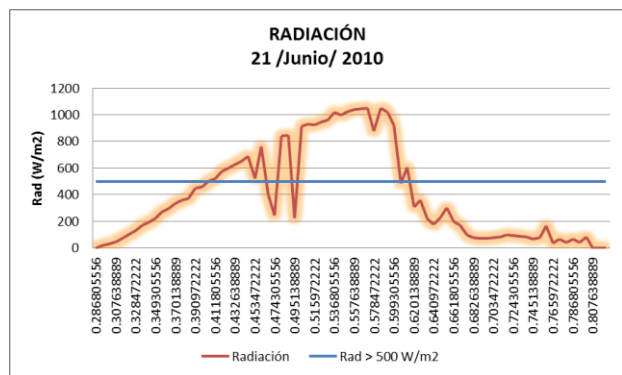


Fig. 140. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 21 junio de 2010

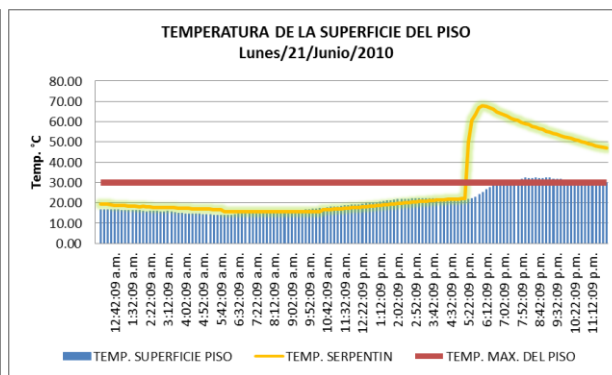


Fig. 141. Muestra la temperatura de la superficie del piso, así como la temperatura del agua que corre por el serpentín

En cuanto al día 29 de junio de 2010, el comportamiento es muy similar al de los días anteriores, ya que la temperatura exterior está por debajo de los 15 °C y la temperatura al interior del módulo sin el aporte del piso radiante esta entre los 16 °C y 17 °C, comparando estos datos obtenidos de la simulación térmica con los datos obtenidos de las mediciones, se observa que el piso radiante logró elevar la temperatura interior del módulo manteniéndola entre los 20 °C y 24 °C (fig. 143).

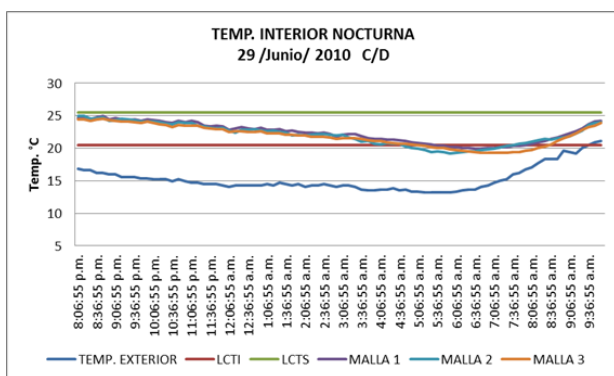


Fig. 142. Imagen que muestra la temperatura interior de las tres mayas de termopares, así como la temperatura exterior del día 29 de junio de 2010

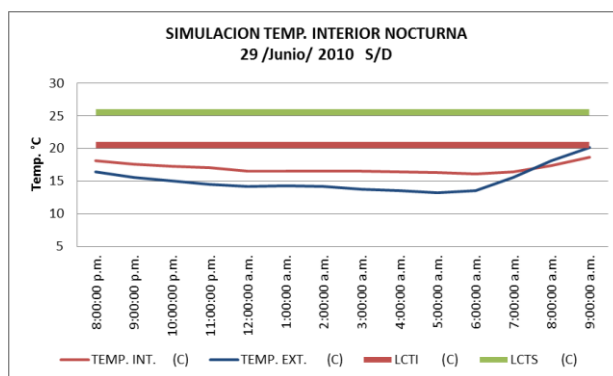


Fig. 143. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo obtenida de la simulación térmica para el día 29 de junio de 2010

Se observa que las pérdidas nocturnas del 29 de junio de 2010 van desde los 70 W hasta los 145 W en las horas de la madrugada del 30 de junio de 2010 (fig. 145), sin embargo para logara mantener la temperatura interior en un rango de 20 °C a 24 °C el piso radiante aporato alrededor de 150 W/h (fig. 144).

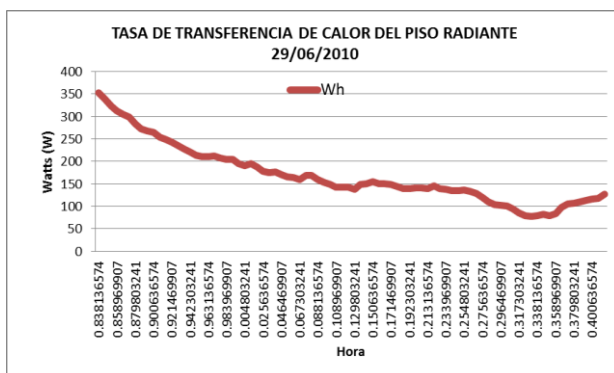


Fig. 144. Calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo, 29 junio de 2010

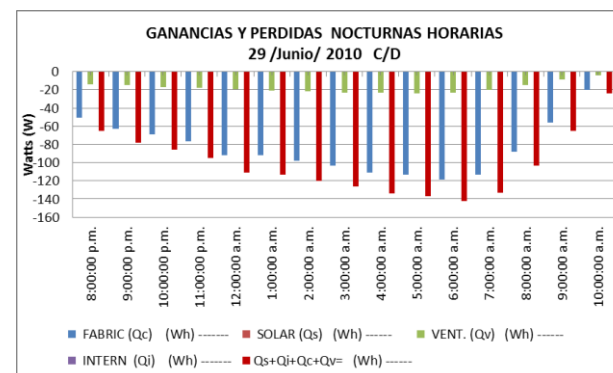


Fig. 145. Muestra las pérdidas horarias de energía del módulo para el día 29 junio de 2010

En cuanto a la radiación solar encontramos el mismo patrón que los días anteriores, ya que se superaron los 600 W y en las horas del mediodía se alcanzaron los 900 W/m² (fig. 146), sin embargo en este día se encontraron altas y bajas de radiación ya que en algunos minutos hubo nubosidad sobre la zona de estudio.

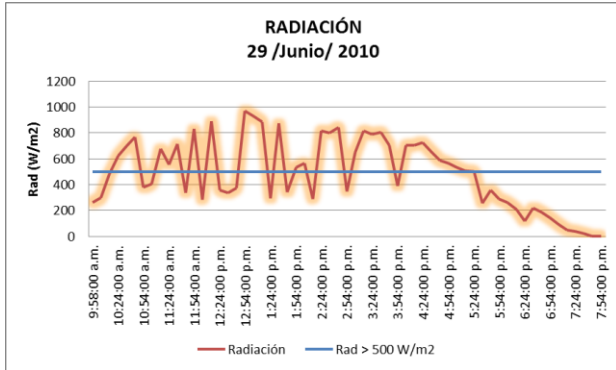


Fig. 146. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 29 junio de 2010

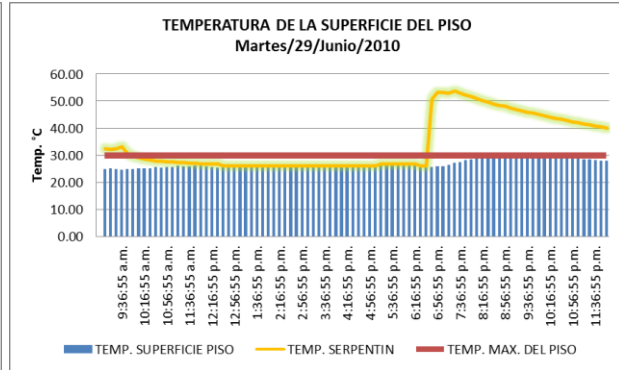


Fig. 147. Temperatura de la superficie del piso, y temperatura del agua que corre por el serpentín

Se puede ver que el dispositivo de calefacción hidrónica solar funciona de manera eficiente, ya que logró aumentar la temperatura interior llevándola hasta los rangos de confort (fig. 142). Sin embargo, este desempeño puede llegar a verse afectado si la radiación solar disminuye, debido a que ésta es la principal fuente de energía del dispositivo, generalmente uno de los principales factores que afectan a la radiación que incide sobre la superficie del colector solar es la nubosidad. En la figura 148 se observa que los meses con mayor predominancia de días despejados en la ciudad de México son de enero a finales de marzo, mientras que la época de nublados o cerrados se manifiesta entre junio y finales de octubre, se presentan también dos épocas de transición o medios nublados, la primera entre abril siendo el punto de inflexión a principios de mayo, la segunda época de medios nublados se presenta en noviembre y diciembre, la máxima nubosidad coincide con el mes de mayores lluvias. Se observa una ligera disminución de nublados en agosto, la cual vuelve a incrementarse en septiembre. Es evidente como la radiación descende durante los meses de precipitación (junio a septiembre), debido principalmente a la nubosidad. También es claro que la radiación descende en la época invernal debido a la declinación solar.

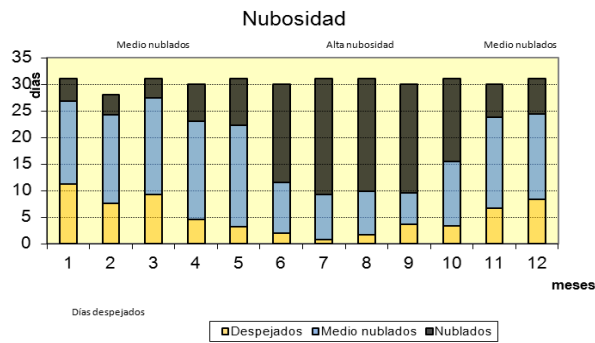


Fig. 148. Imagen que muestra los niveles de nubosidad a lo largo del año

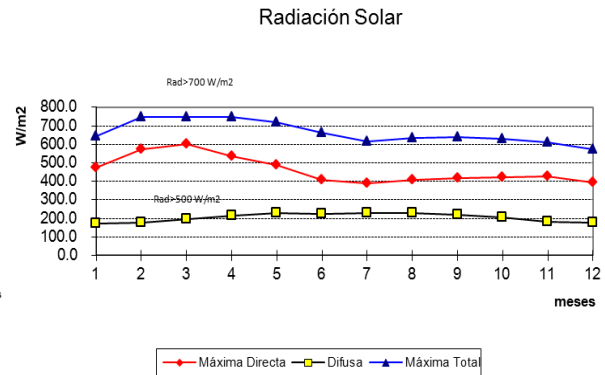


Fig. 149. Imagen que muestra el comportamiento de la radiación solar a lo largo del año

Sin embargo, la radiación total alta se presenta de mediados de enero hasta principios de mayo sobrepasando los 700 W/m^2 (fig. 149), esto representa aproximadamente el 70 % o más de la radiación teórica total máxima posible que podría incidir sobre el plano horizontal en la latitud de la ciudad de México para cada uno de los meses del año.

Debido a este factor el desempeño del dispositivo de calefacción baja su rendimiento y por tanto la tasa de transferencia de calor al espacio interior disminuye considerablemente, en la figura 150 se observa el desempeño del dispositivo de calefacción solar en un día nublado.

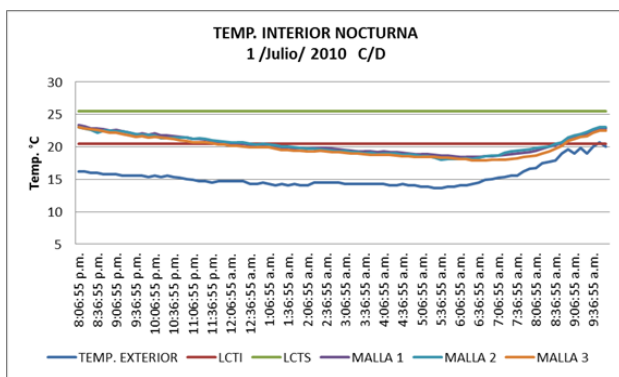


Fig. 150. Imagen que muestra el comportamiento térmico dentro del módulo a diferentes alturas de 0.30, 1.60 y 2.20 cm

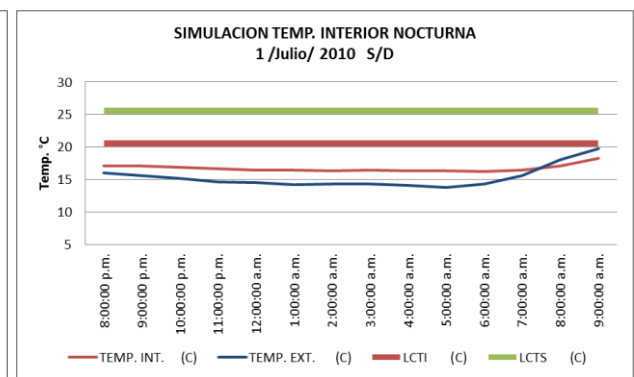


Fig. 151. Muestra la simulación de la temperatura al interior del módulo

Es evidente como la eficiencia del dispositivo de calefacción baja considerablemente ya que apenas alcanza los zona de confort en las primeras tres horas de funcionamiento, sin embargo si comparamos la temperatura al interior del módulo con el sistema de piso radiante contra la temperatura de la simulación del módulo sin el aporte de piso radiante (figura 150 y 151) vemos que el sistema de calefacción sigue aportando una cantidad de energía considerable. En contraste encontramos que el día 6 de julio de 2010 la eficiencia del piso radiante fue mucho más baja que la del 1 de junio de 2010.

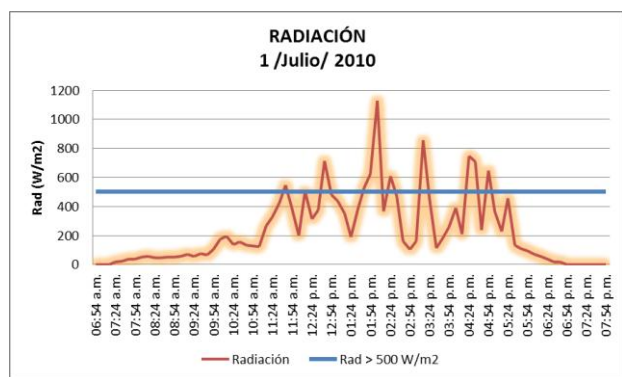


Fig. 152. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 1 de julio de 2010

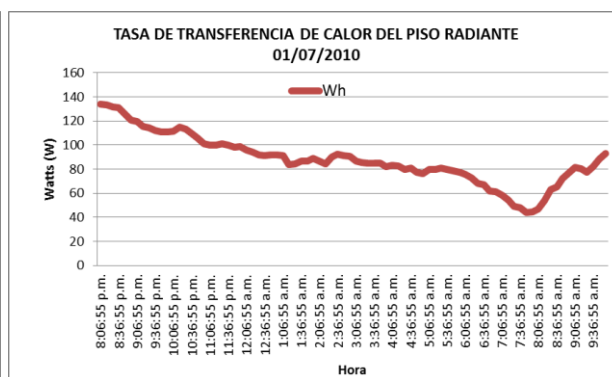


Fig. 153. Muestra las pérdidas horarias de energía del módulo para el día 1 julio de 2010

Al observar la temperatura exterior se puede notar que su comportamiento es muy similar al de los días anteriores ya que se mantiene por debajo de los 14 °C, en cuanto a la temperatura al interior del módulo encontramos que apenas supera los 15 °C esto sin el aporte del piso radiante (fig.155). Ahora comparando estos datos con los de la temperatura interior con el piso radiante en funcionamiento (fig.154), se observa que el piso radiante no aporte energía suficiente para aumentar la temperatura interior ya que solo aumento alrededor de 3 °C en comparación con el módulo sin piso radiante.

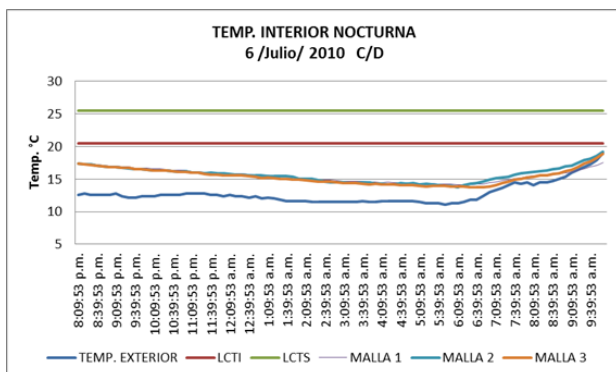


Fig. 154. Imagen que muestra el comportamiento térmico dentro del módulo a diferentes alturas de 0.30, 1.60 y 2.20 cm

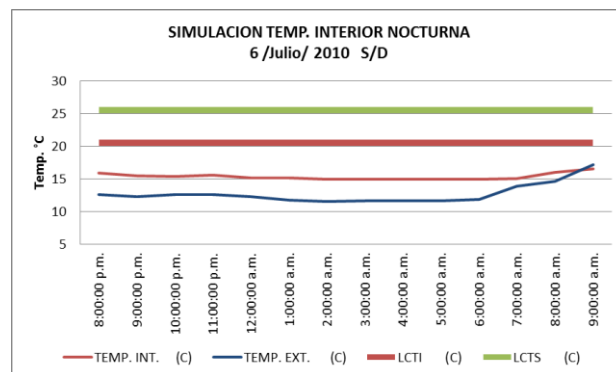


Fig. 155. Muestra la temperatura al interior del módulo y la temperatura exterior obtenida de la simulación térmica

Este comportamiento se debe principalmente a que la radiación solar incidente del día 6 julio de 2010 no fue la suficiente para calentar el agua que corre por el serpentín, si observamos la figura 157 vemos que la radiación supera los 600 W/m² de las 10:00 am hasta las 12:00 pm, pero a partir de esa hora comienza a descender en algunos puntos y a partir de las 2:30 pm baja considerablemente hasta menos de 200 W/m², esto debido a la nubosidad que se presentó después de las 2:00 pm.

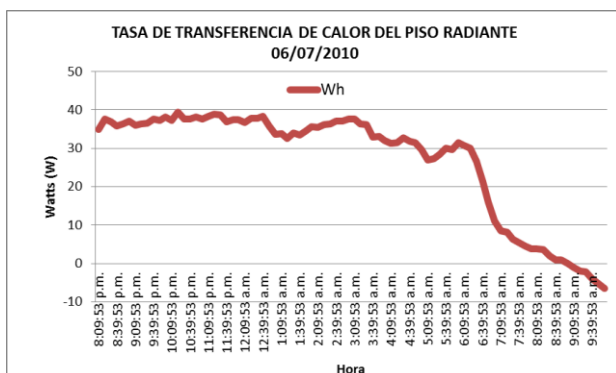


Fig. 156. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 6 julio de 2010

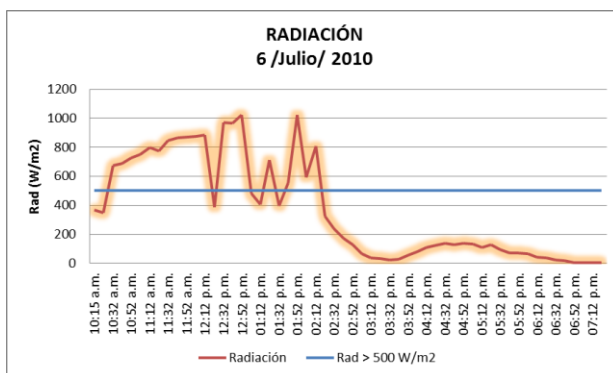


Fig. 157. Muestra la radiación solar horaria del día 6 de julio de 2010

En la figura 156 se observa que el desempeño del piso radiante hidrónico solar bajo su rendimiento en cuanto a transferencia de calor, esto debido principalmente a la disminución de la

radiación solar que incide en el colector solar, ya que ésta es la principal fuente de energía del sistema de calefacción.

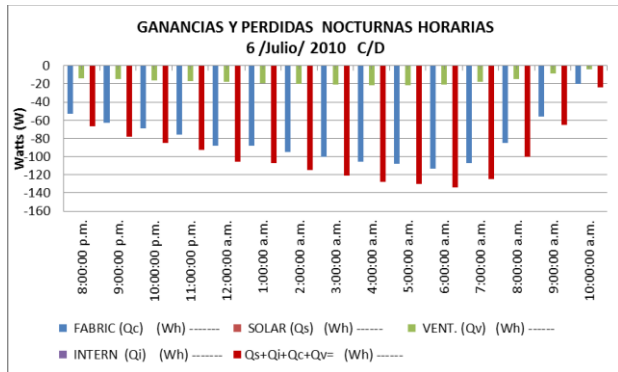


Fig. 158. Muestra el balance térmico horario del día 6 de julio de 2010

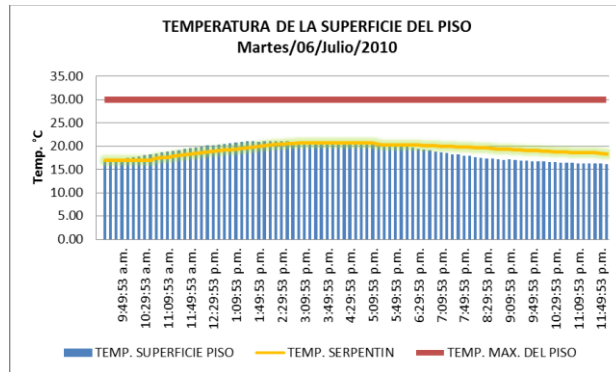


Fig. 159. Muestra la temperatura de la superficie del piso, así como la temperatura del agua que corre por el serpentín

En este primer periodo de pruebas se encontró que la temperatura del espacio interior de las 8.00 pm a las 9.00 am está en un rango de 18 °C a 25 °C a la altura de los ocupantes, la cual es una temperatura óptima para el confort, la temperatura del piso en la mayoría de los casos no excede los 29 °C y la temperatura por arriba de los ocupantes se encuentra entre 20 °C y 25 °C de las 8.00 pm a las 9.00 am. Por tanto, se puede concluir que el dispositivo de calefacción hidrónica solar funciono de manera eficiente, ya que logró aumentar la temperatura interior llevándola hasta los rangos de confort. Sin embargo, el periodo en el cual se realizaron las pruebas fue en el de menor requerimiento de calentamiento y el de mayor radiación solar, según los datos del observatorio de Tacubaya.

En cuanto al colector solar, éste se adaptó exitosamente al piso radiante, debido a que la energía acumulada en el piso durante las horas de mayor radiación es entregada al ambiente interior cuando la temperatura exterior es más baja y la necesidad de calefacción es mayor.

8.5. SEGUNDO PERIODO DE EVALUACIONES

En el segundo periodo de monitoreo que comprendió del 11 de diciembre del 2010 al 6 de enero y del 27 de enero al 14 de febrero del 2011 se realizaron tres diferentes pruebas. La primera consistió en realizar mediciones con el dispositivo de calefacción apagado, es decir, que el sistema estuvo sin flujo de agua caliente, esto fue durante cuatro días, con el objetivo de conocer las temperaturas interiores del prototipo sin el aporte de energía del piso radiante y con esto realizar una comparación con una simulación térmica de un módulo virtual y a través de ella comprobar si la simulación térmica realizada al módulo virtual tiene la exactitud adecuada para establecerla como el principal punto de comparación entre un módulo sin aporte de piso radiante y otro con el aporte del mismo.

Las gráficas muestran el comportamiento de la temperatura interior del módulo, así como la temperatura ambiente. Dentro de éste se midió la temperatura a tres diferentes alturas, en cada una se colocaron doce termopares los cuales forman una maya, además se hizo un promedio de las doce temperaturas de cada una de las mayas.

Para el día 11 de diciembre de 2010 encontramos que en la primera maya ubicada a 30 cm de altura del piso, la temperatura interior (5 °C a 20 °C) se encontraba por debajo de la zona de confort, lo que indica requerimientos de calentamiento. En la segunda maya de termopares, ubicada a una altura de 1.60 m por arriba del piso, se observa que la temperatura desciende hasta los 3 °C a partir de las 6:30 am. En la tercer maya ubicada a una altura de 2.10 m, se observa que el comportamiento de la temperatura está más elevada que las de las dos anteriores ya que esta alcanza los 25 °C a las 3:00 pm, el resto del día solo hay una diferencias de entre 1 °C y 2 °C máximo entre maya y maya, en general la temperatura interior está muy por debajo de confort. En cuanto al comportamiento de la temperatura ambiente tenemos que esta oscila entre los 0 °C en su punto más frío y los 22 °C en las horas del mediodía (fig. 160).

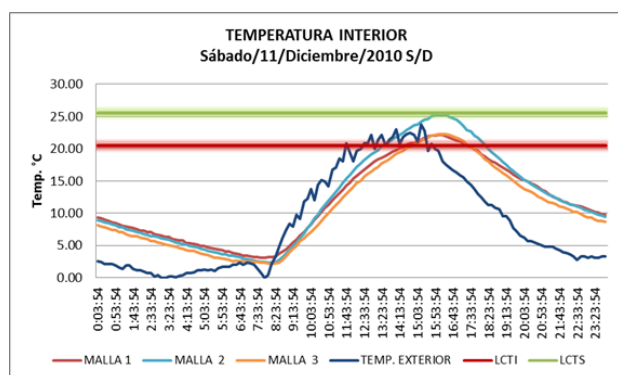


Fig. 160. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

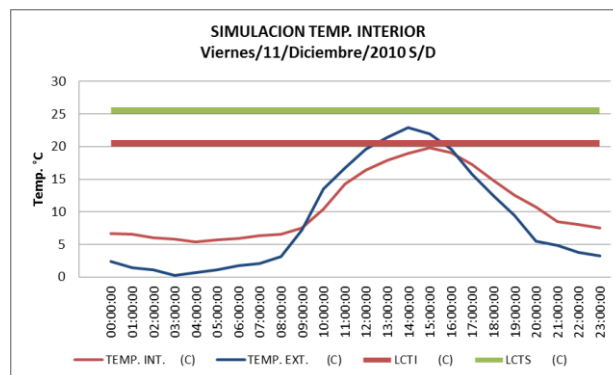


Fig. 161. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

Debido a que no se cuenta con dos módulos para compararlos entre sí, uno con el piso radiante en funcionamiento y otro sin éste, se realizó una simulación térmica del módulo el cual muestra el comportamiento térmico del módulo sin el aporte del piso radiante. Para demostrar que la simulación térmica del módulo es veraz, se realizó una comparación entre el módulo virtual y el módulo real. A continuación se muestra una comparación entre la simulación térmica del módulo y el comportamiento térmico del módulo real.

En la figura 162 y 163 observamos la primera comparación entre ambos modelos, en ella encontramos que hay una gran exactitud entre la simulación y las mediciones reales, ya que el comportamiento térmico interior muestra una temperatura de 15 °C a partir de las 8:00 pm la cual va en descenso hasta llegar a los 5 °C a las 6:00 am tanto en la simulación como en las mediciones reales.

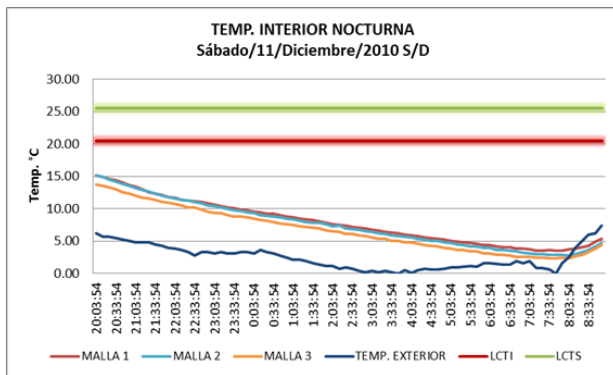


Fig. 162. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

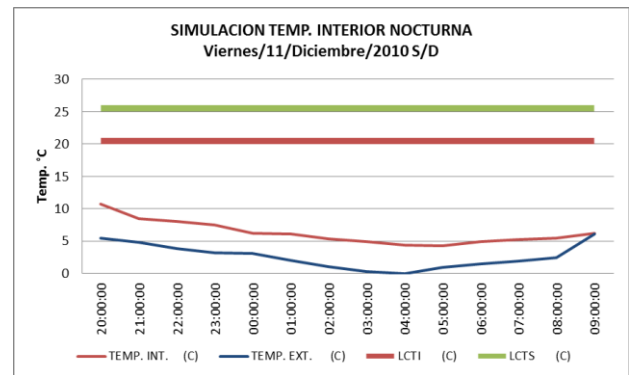


Fig. 163. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

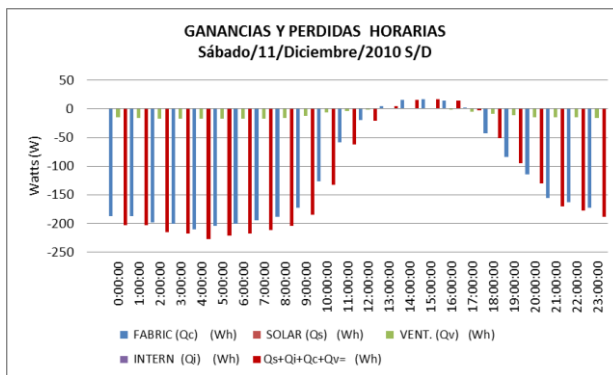


Fig. 164. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

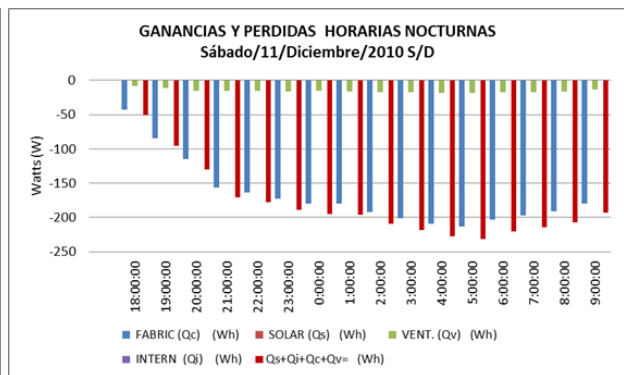


Fig. 165. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

El segundo punto de comparación se realizó para el día 13 de diciembre del 2010, en las figuras 166 y 167 se puede observar que la temperatura exterior ambiente está muy por debajo del rango de confort, esto sucede prácticamente todo día, dicha temperatura se encuentra en los 19 °C a las 12:00 pm y descienden por debajo de los 5 °C durante la madrugada. En cuanto a la temperatura interior se observa que durante la madrugada está por debajo de los 10 °C y llega a descender hasta los 5 °C alrededor de las 2:00 am, durante el día se encuentra en un rango de 10 °C y 19 °C.

Si comparamos estos datos con los obtenidos de la simulación térmica del módulo, encontramos que tenemos un comportamiento muy similar, ya que solo en algunas horas hay diferencia de temperaturas de 1 °C a 2 °C entre la simulación y las mediciones tomadas del módulo real, esto puede deberse a que los datos de temperatura del módulo real son a cada 10 minutos y las temperaturas de la simulación se establecen en un promedio por hora.

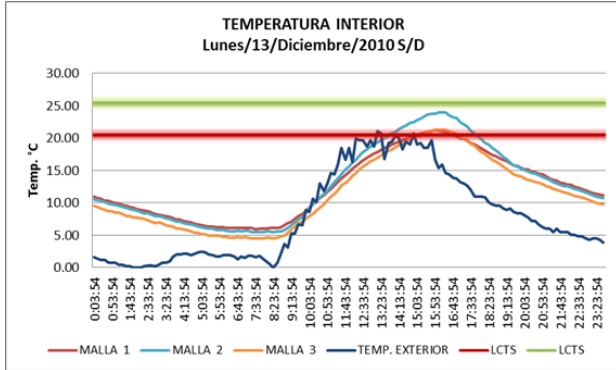


Fig. 166. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

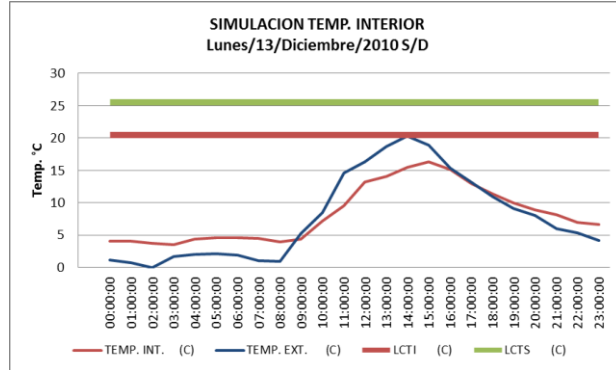


Fig. 167. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

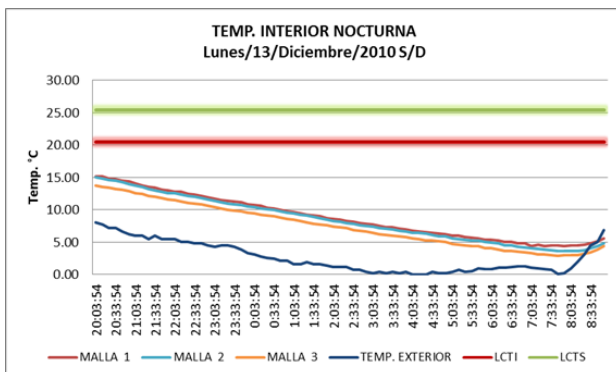


Fig. 168. Imagen que muestra de la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

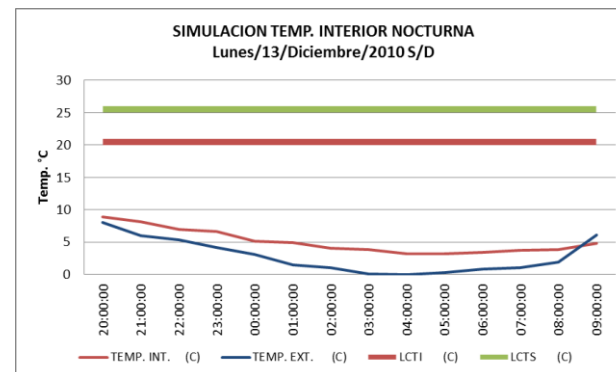


Fig. 169. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 hora

La figura 170 muestra la temperatura interior dentro del módulo para el día 14 de diciembre, si lo comparamos con la simulación realizada con el software Autodesk Ecotect Analysis para el mismo día (fig. 171), se puede ver que la temperatura interior de la simulación es muy similar, ya que la diferencia entre la temperatura interior de la simulación y la temperatura interior tomada en el sitio tienen una diferencia mínima de 1 °C a 2 °C máximo en algunas horas de la noche y en la mayoría de las horas las temperaturas coinciden, esto nos da un parámetro de la exactitud de la simulación que se realizó al módulo.

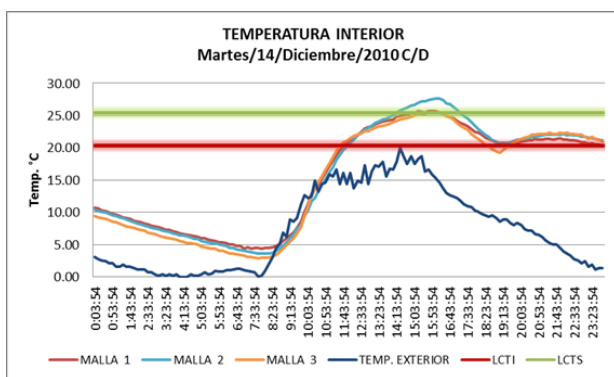


Fig. 170. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

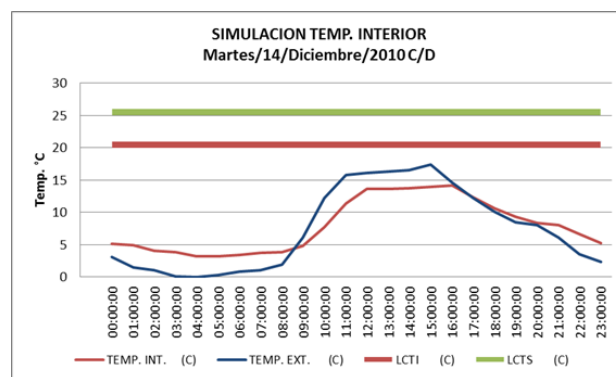


Fig. 171. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

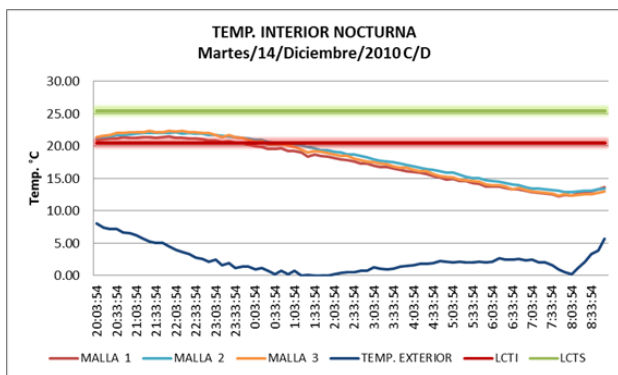


Fig. 172. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

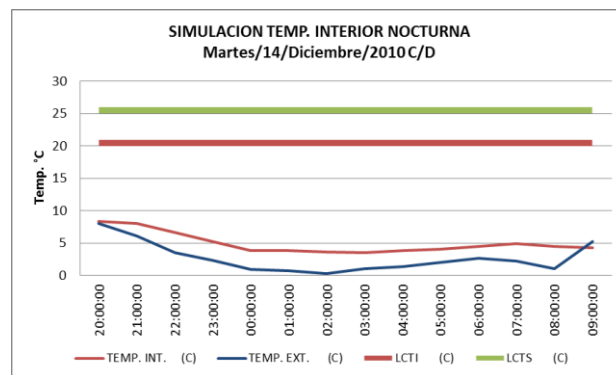


Fig. 173. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

En la segunda etapa del segundo periodo de monitoreo se puso en funcionamiento el dispositivo de calefacción por piso radiante. Este período de evaluaciones se realizó durante 9 días más, en este caso el piso radiante estuvo en funcionamiento durante la noche en un horario de 8:00 pm a 9:00 am del día siguiente, estas mediciones representan el punto más crítico en cuanto a temperaturas bajas y a pérdidas de energía en el módulo, con lo cual se podrá determinar si el dispositivo resulta ser eficiente para lograr aumentar la temperatura dentro de éste a un rango de entre 20 °C y 25 °C. Para ello se realizaron mediciones de la temperatura a 3 diferentes alturas dentro del módulo tal como se hizo en la primera fase, además de registrar la temperatura ambiente. El objetivos es comparar las temperaturas interiores de los dos módulos y ver la eficiencia del dispositivo de piso radiante. A continuación se presentan los casos más representativos de los 9 días de mediciones. Comenzando con el análisis térmico del módulo encontramos que para el día 14 de diciembre el piso radiante logró elevar la temperatura interior y llevarla hasta un rango de 13 °C a 22 °C durante las horas de la noche. Es evidente que la temperatura apenas alcanzó el rango de confort, sin embargo, al observar la temperatura exterior se puede notar que está por debajo de los 5 °C y en algunas horas de la madrugada desciende a los 0 °C (fig. 174), esto quiere decir que el aporte de calor del piso radiante es considerable, en contraste con la simulación térmica podemos observar que la temperatura interior sin el dispositivo de calefacción se encuentra entre 5 °C y 8 °C. Con estos datos podemos afirmar que el piso radiante logró aumentar la temperatura interior del módulo hasta en 8 °C (fig. 175).

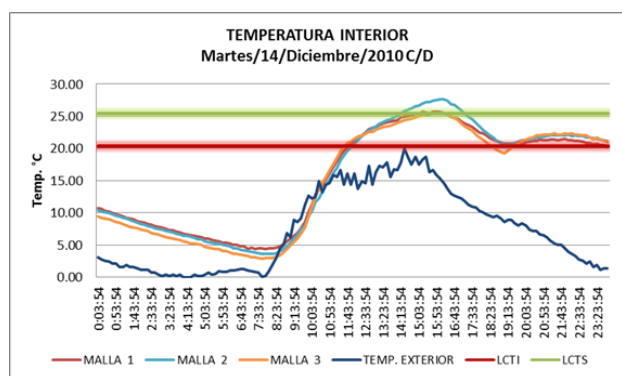


Fig. 174. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

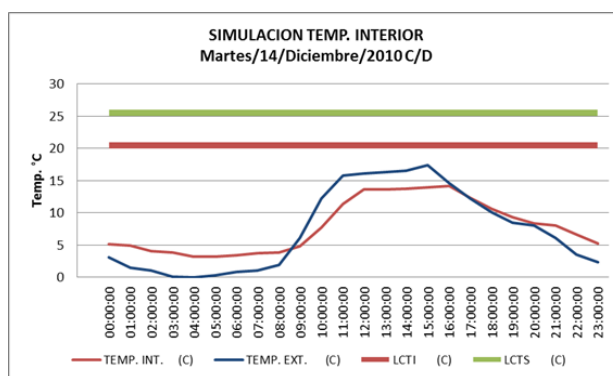


Fig. 175. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

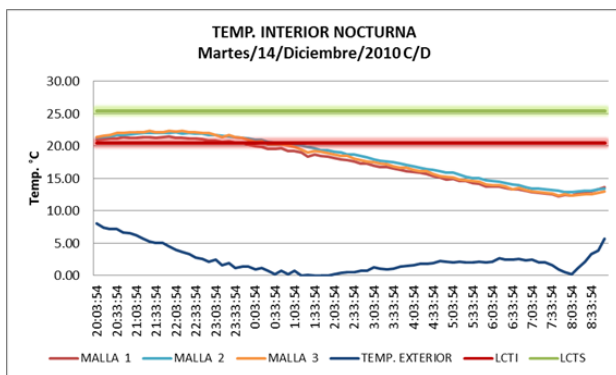


Fig. 176. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

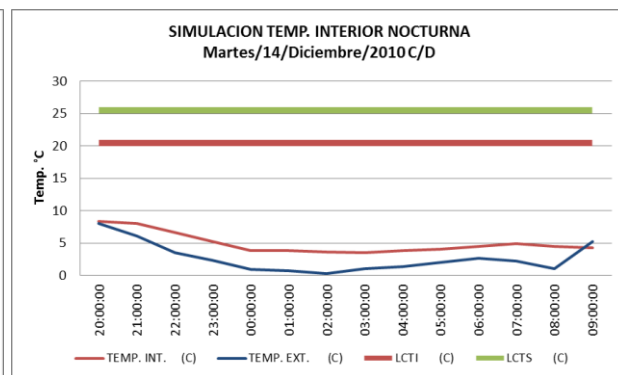


Fig. 177. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

En cuanto a las pérdidas de energía encontramos que van de 50 W a los 220 W en el punto más crítico que es a las 5:00 am, estas pérdidas deben de ser suministradas por el dispositivo de calefacción para logara mantener una temperatura interior de entre 20 °C a 25°C (fig. 178). Para conocer cuál es el aporte de calor del piso radiante se realizó el cálculo de transferencia de calor, este cálculo nos muestra cuantos W/h aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo.

En la figura 181 se observa la tasa de transferencia de calor del día 14 de diciembre de 2010 durante la noche y la madrugada del 15 de diciembre de 2010, como se puede apreciar, en las primeras horas de funcionamiento del piso radiante (8:00 pm a 0:00 am) el aporte de calor llega hasta los 400 W, lo cual muestra un excedente de energía. Sin embargo, debido a la transferencia de calor el aporte en watts va disminuyendo llegando a un rango de entre 200 y 250 W transferidos, si se observa la gráfica del balance térmico (fig. 179) se puede ver que los requerimientos de calor están dentro de ese rango, esto quiere decir que el aporte de calor es el adecuado para lograr aumentar la temperatura al interior del módulo.

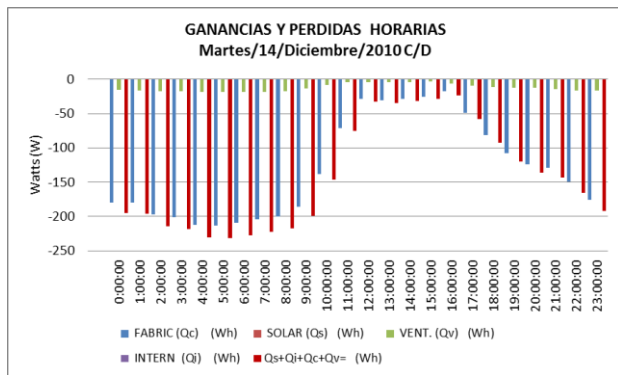


Fig. 178. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

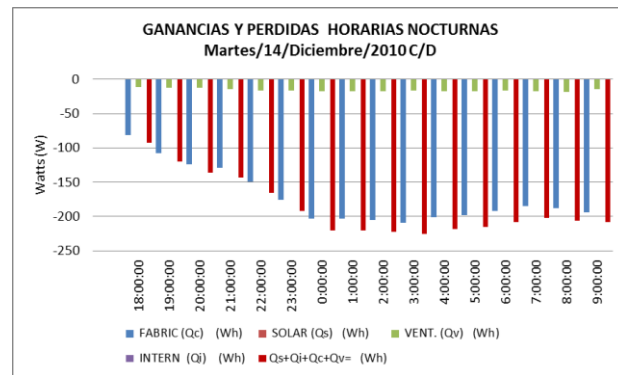


Fig. 179. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

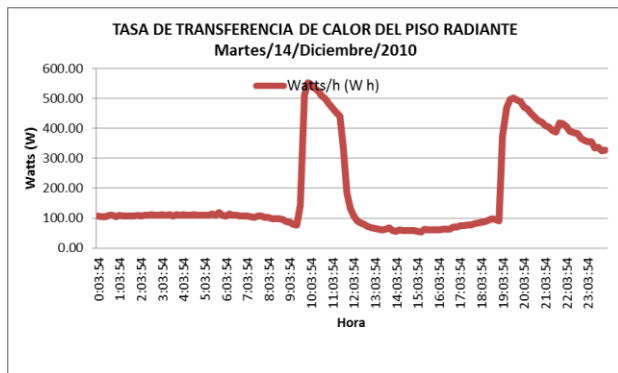


Fig. 180. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

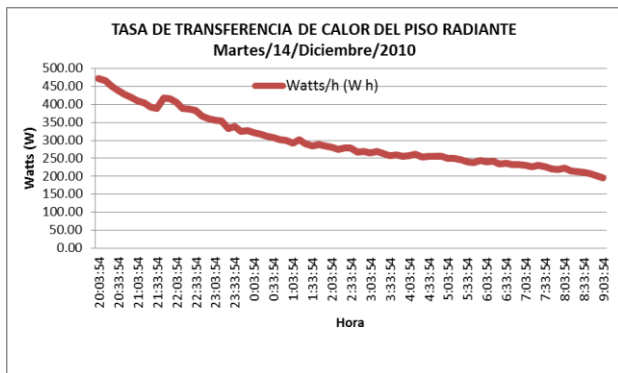


Fig. 181. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

En cuanto a los niveles de radiación correspondientes al día 14 de diciembre de 2010 superaron los 500 W y llegaron hasta 780 W en las horas del mediodía (fig. 182), esto indica que la radiación es alta y que favorece la eficiencia del dispositivo de calefacción, por su parte a la temperatura del piso se mantuvo por debajo de los 30 °C lo cual es ideal para el confort en este tipo de sistemas de calefacción(fig. 183), ya que si se supera esta temperatura puede causar disconfort en el usuario.

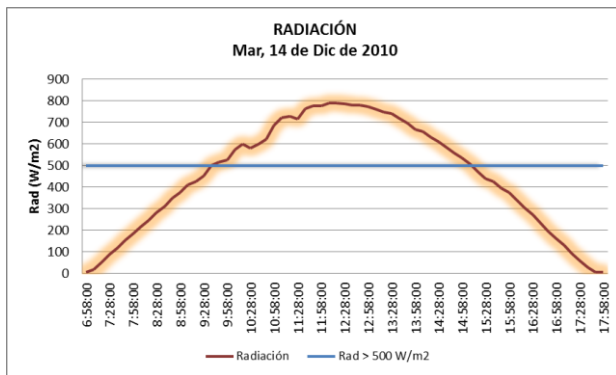


Fig. 182. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 14 de diciembre de 2010

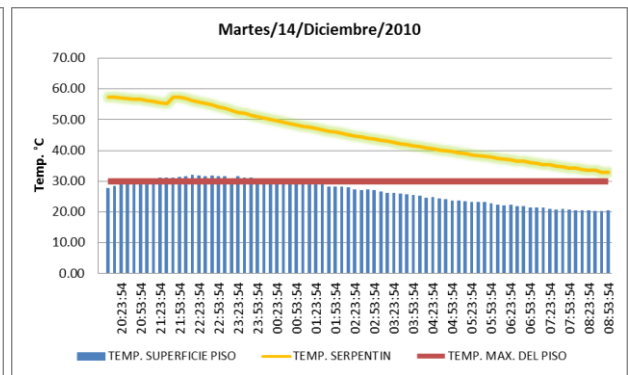


Fig. 183. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

Para el 20 de diciembre de 2010 encontramos que la temperatura ambiente se encuentra por debajo de los 10 °C de 8:00 pm a 12:00 am, y de este punto en adelante la temperatura desciende hasta llegar a los 0 °C en las horas de la madrugada (fig. 184). Al observar la figura 184 se puede observar que la temperatura al interior del módulo apenas alcanza los 9 °C en las primeras horas de la noche y durante la madrugada la temperatura se encuentra entre los 6 °C y 4 °C, lo cual nos indica que las pérdidas de energía hacia el ambiente son excesivas, si se observa la figura 184 se puede apreciar que las pérdidas de energía en las horas más crítica de la noche ascienden a los 235 W.

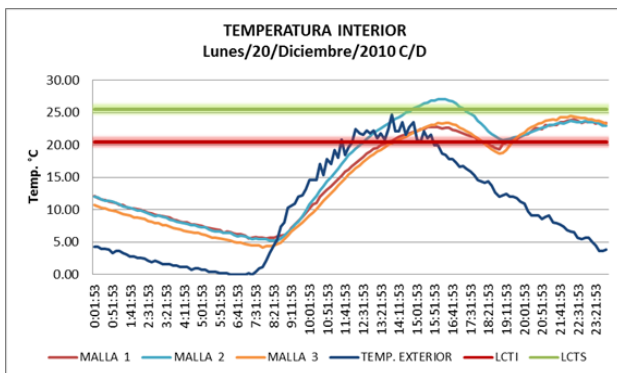


Fig. 184. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

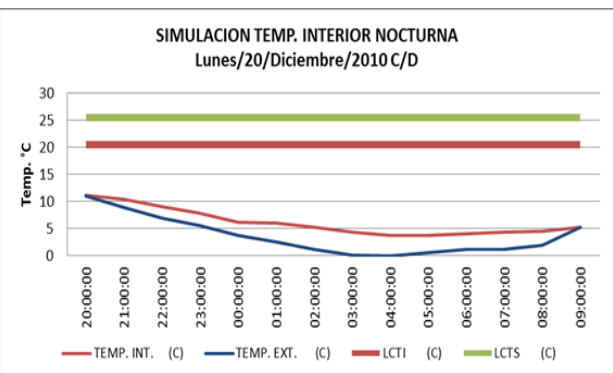


Fig. 185. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

Es claro que la temperatura al interior del módulo para el día 20 de diciembre de 2010 está muy por debajo del rango de confort, en la figura 185 se observa la temperatura al interior del módulo con el sistema de piso radiante en funcionamiento, la cual asciende a un rango de 20 °C a 24 °C de 8:00 pm a 2:00 am y de ahí desciende hasta los 15 °C, esto nos indica que el dispositivo logró llevar la temperatura interior a hasta el rango de confort, después fue descendiendo hasta llegar a los 15 °C, lo cual indica que el rendimiento del piso radiante no fue el óptimo para mantener la temperatura interior por arriba de los 20 °C. Sin embargo, comparando este comportamiento contra el comportamiento de la temperatura al interior del módulo sin el aporte del piso radiante, observamos que existe una diferencia de hasta 10 °C menos al interior del módulo esto nos indica un buen desempeño del dispositivo de calefacción. Ya que a pesar de que no se mantuvo una temperatura de confort durante el periodo de funcionamiento, si se logró elevar de manera considerable la temperatura al interior del módulo.

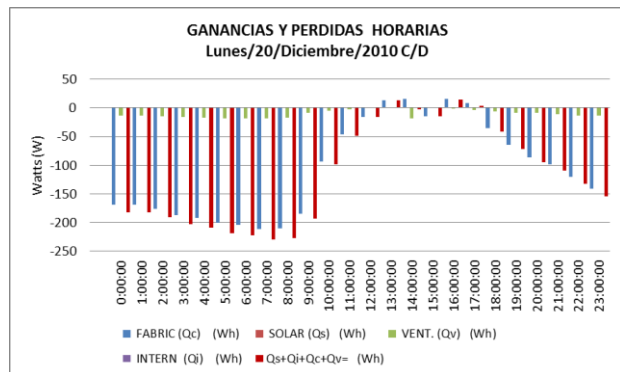


Fig. 186. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

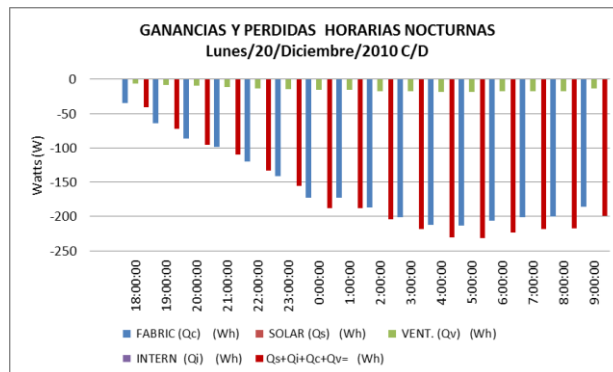


Fig. 187. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

Hasta este punto el dispositivo ha cumplido con su función de brindar un aporte de energía para lograr aumentar la temperatura interior al rango de confort deseado, pero no hay que perder de vista que este rango puede verse afectado si se supera una temperatura en el piso de 30 °C, esto va a depender del tipo de estancia en el que se encuentre el usuario, ya que el superar esta temperatura causaría malestar. En este caso se puede observar que la temperatura del piso superó los 30 °C en algunas horas de la noche llegando a los 30.5 °C, esto podría regularse controlando el caudal de agua caliente que corre por el serpentín. En cuanto a los niveles de radiación solar

incidente, encontramos que superó los 500 W/m² a partir de las 10:00 am y alcanzó los 700 W al medio día (fig. 188), esto supone un buen aporte de energía, suficiente para que el colector solar pueda calentar el agua a una temperatura de entre 60°C y 70 °C, misma que se usara para el piso radiante.

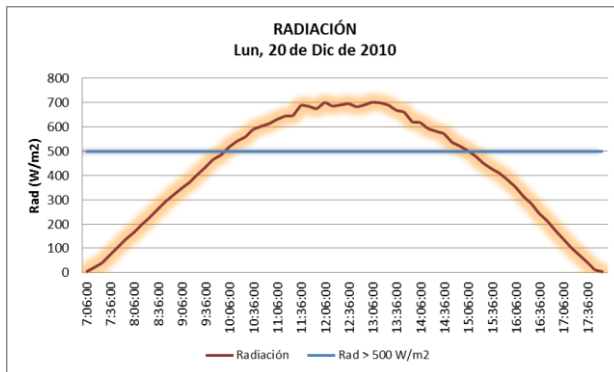


Fig. 188. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 20 de diciembre de 2010

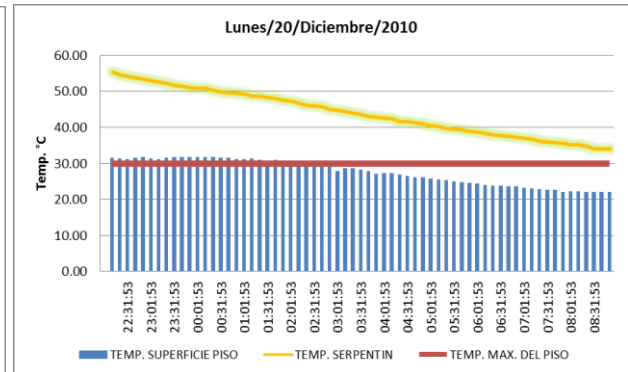


Fig. 189. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

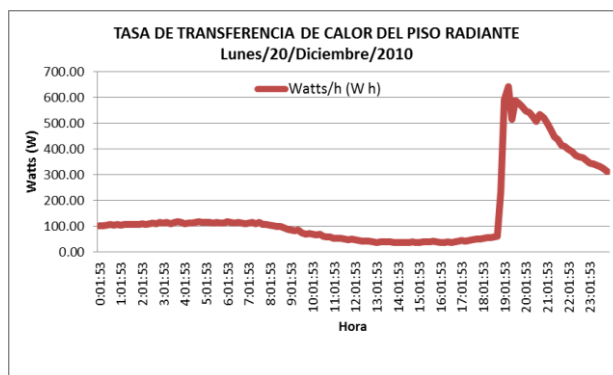


Fig. 190. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

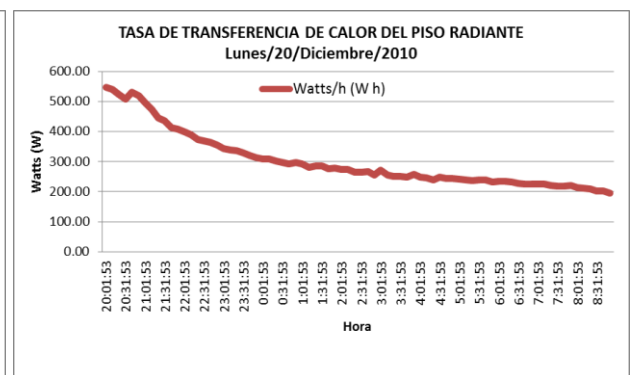


Fig. 191. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

Por lo anterior mencionado se puede apreciar que el piso radiante resulto ser un buen aporte de energía para elevar la temperatura interior del módulo, en la figura 191 se puede observar que la

transferencia de calor del piso radiante estuvo en un rango de 350 Wh a 200 Wh, es decir; en la mayoría de las horas de la noche se logró compensar las pérdidas de energía que el módulo cedía al ambiente exterior.

Hasta este punto conforme a las pruebas realizadas durante estos 9 días, podemos decir que el sistema de piso radiante ha sido eficiente para elevar la temperatura al interior del módulo, si bien es cierto que el piso radiante solo logra llevar la temperatura hasta el rango de confort durante la mitad de la noche, la segunda mitad mantiene una temperatura de entre 15 °C y 20 °C, si comparamos esta temperatura con la temperatura al exterior del módulo y la temperatura interior del módulo sin el aporte del piso radiante vemos que hay una diferencia de temperaturas de hasta 10 °C, lo cual supone un excelente aporte del piso radiante.

A partir de este punto las pruebas realizadas al módulo serán durante el día y la noche, el objetivo es comprobar si el dispositivo de calefacción solar es capaz de compensar las pérdidas de energía durante el día y la noche, estas pruebas se realizaron durante 20 días más, estas mediciones se realizaron durante los primeros días de enero (4, 5 y 6) de 2011, después de estos días se continuaron las pruebas a partir del 27 de enero de 2011, y continuaron hasta el 12 de febrero de 2011. A continuación se presentan solo los casos más representativos de estos 20 días de mediciones.

Para el 4 de febrero de 2011 nos encontramos con temperaturas bajas durante la mayor parte del día, de las 12:00 am a las 8:00 am la temperatura está por debajo de los 8 °C y desciende hasta los 5 °C, a partir de las 8:00 am la temperatura aumenta y se mantiene en un rango de entre 19 °C y 15 °C hasta las 4:00 pm y comienza a descender hasta llegar a los 8 °C alrededor de las 11:00 pm. En cuanto a la temperatura interior tenemos un comportamiento muy similar ya que en las primeras horas del día la temperatura interior está por debajo de los 10 °C y, a partir de las 9:00 am la temperatura interior se eleva siguiendo el comportamiento de la temperatura exterior, pero solo llega hasta los 18 °C en su punto más alto que es a las 3:00 pm y comienza a descender nuevamente (fig. 193).

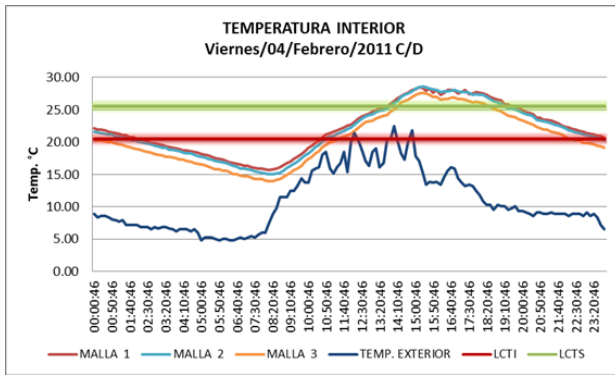


Fig. 192. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

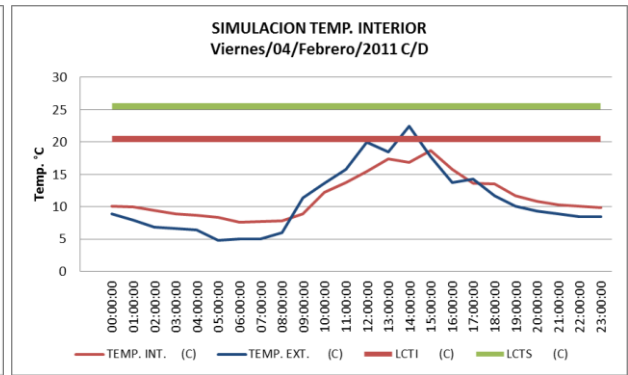


Fig. 193. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

Es claro que las temperatura interior no alcanza el rango inferior de confort para la ciudad de México, ahora bien, comparando este comportamiento contra la temperatura al interior del módulo con el piso radiante en funcionamiento vemos que hay un diferencia de temperaturas de hasta 13 °C en las horas del mediodía, a partir de las cuatro de la tarde la temperatura comienza a descender pero se mantiene por arriba de los 16 °C en su punto más crítico (fig. 192). Es claro que el aporte de calor del piso radiante aumenta de manera considerable la temperatura interior durante la noche que es cuando más pérdida de energía existe.

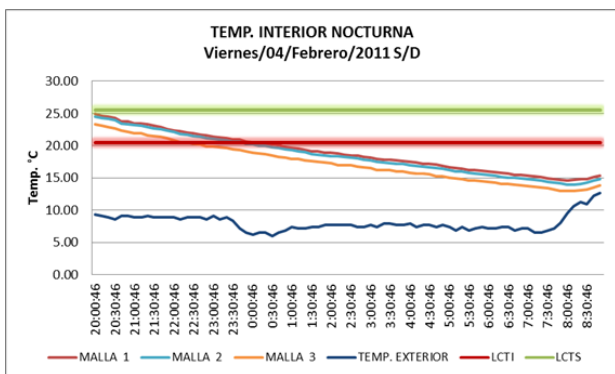


Fig. 194. Imagen que muestra de la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

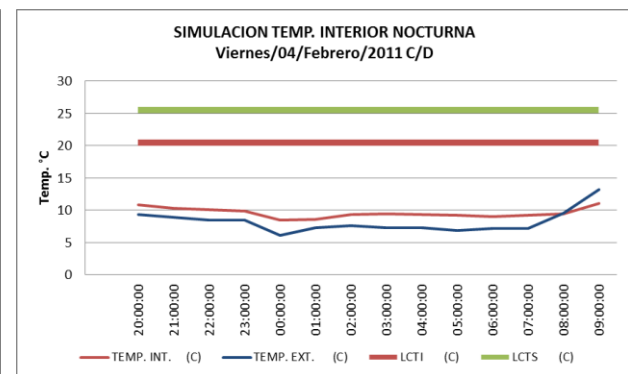


Fig. 195. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

En la figura 197 se observa que la pérdida de energía asciende a los 170 W en su punto más crítico (1:00 am). Sin embargo, a pesar de que el sistema de calefacción solar no pudo compensar esa pérdida, si proporcionó la energía necesaria para aumentar la temperatura por arriba de los 18 °C en el punto más crítico en cuanto a pérdidas de energía y temperaturas bajas se refiere.

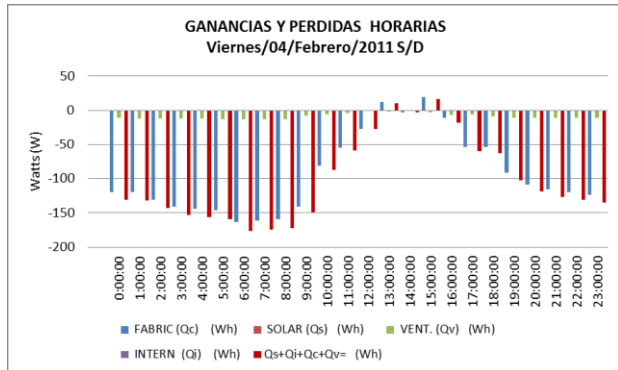


Fig. 196. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

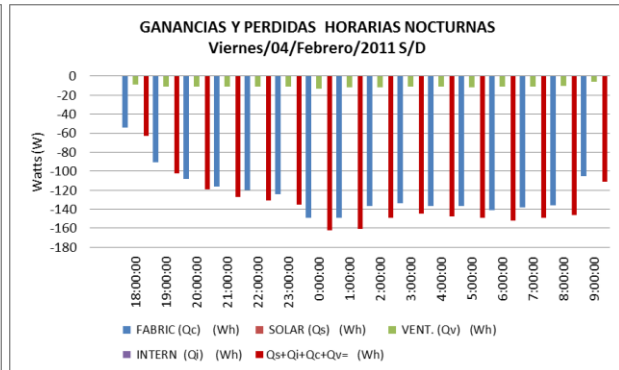


Fig. 197. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

En cuanto a la radiación solar incidente encontramos que sigue el mismo comportamiento de los días pasados, ya que supera los 500 W/m² a partir de las 10:00 am y en las horas del mediodía supera los 900 W/m² (fig. 198). En cuanto a la temperatura del piso se observa un comportamiento muy favorable ya que nunca superó los 30 °C, lo cual no ayuda para mejorar las condiciones de confort al interior de espacio (fig. 199).

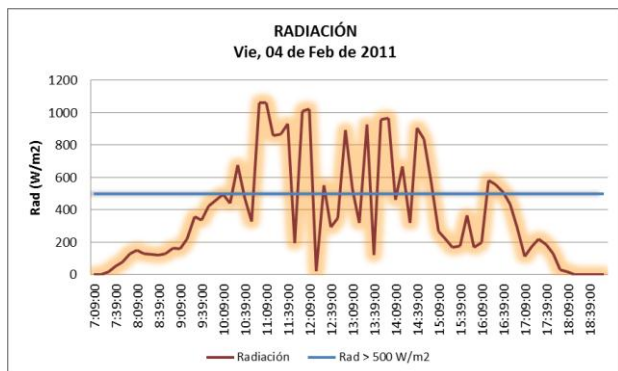


Fig. 198. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 4 de febrero del 2011

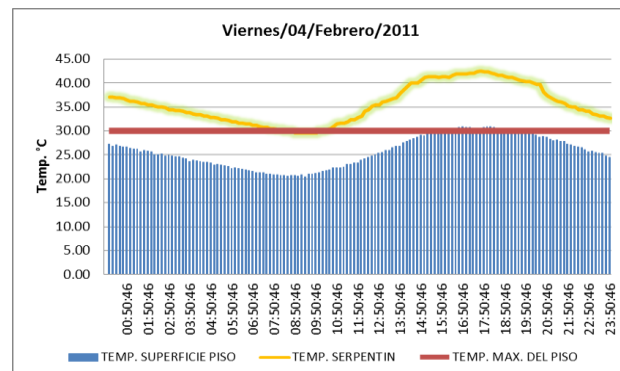


Fig. 199. temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

En cuanto a la transferencia de calor se observa que se mantiene por arriba de los 160 W/h y aumenta por arriba de los 180 W a partir de la 1:00 pm y hasta las 8:00 pm (fig. 201), como se puede apreciar el aporte de calor en watts no fue suficiente para llegar al rango de confort, sin embargo se logró aumentar la temperatura a 16 °C, los cuales resultan ser muy buenos si lo comparamos contra la temperatura ambiente, la cual apenas llega a los 8 °C la mayor parte del día.

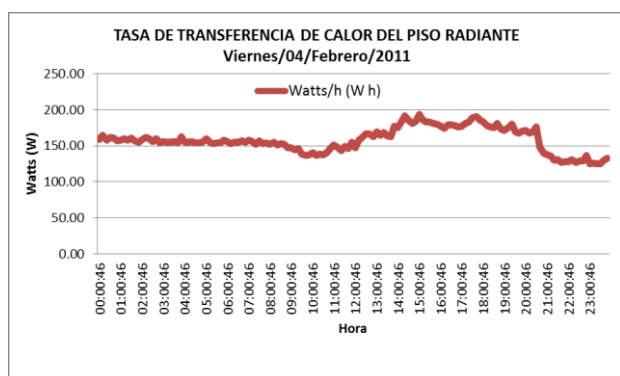


Fig. 200. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

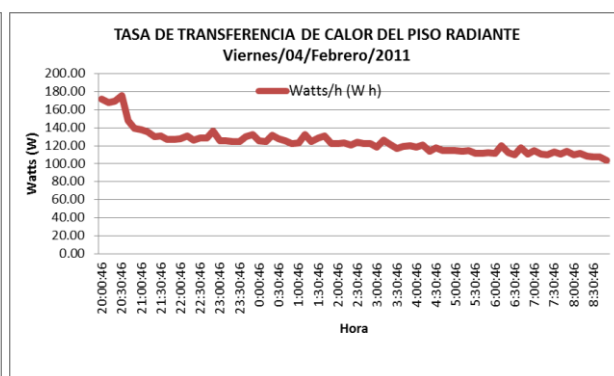


Fig. 201. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

Para el día 6 de enero de 2011 encontramos que la temperatura ambiente está por debajo de los 5 °C durante la madrugada y parte de la noche, en el día encontramos que la temperatura llega a los 20 °C de las 11:00 am a las 4:00 pm y de ahí desciende hasta llegar a los 5 °C. En cuanto a la temperatura interior sin el aporte de calor del dispositivo de calefacción encontramos que se mantiene por debajo de los 8 °C de las 8:00 pm a las 10:00 am, durante el día la temperatura apenas alcanza los 18 °C en la hora más cálida (fig. 203). Si comparamos esta temperatura contra la temperatura interior con el dispositivo de calefacción en funcionamiento encontramos que el piso radiante ayudo a elevar la temperatura interior durante la noche y parte de la madrugada por arriba de los 15 °C, mientras que en el día aumento hasta los 27 °C, lo cual representa un excedente de calor ya que superó el rango de confort establecido, esto indica que el sistema de piso radiante funciona de manera eficiente durante el día cuando las pérdidas de energía son

menores, durante la noche la temperatura interior aumenta considerablemente pero el piso radiante no logra elevarla hasta el rango de confort, sin embargo, considerando la temperatura exterior la cual desciende hasta los 3 °C en el punto más crítico vemos que es un aporte muy bueno el que brinda el sistema de calefacción solar (fig. 202).

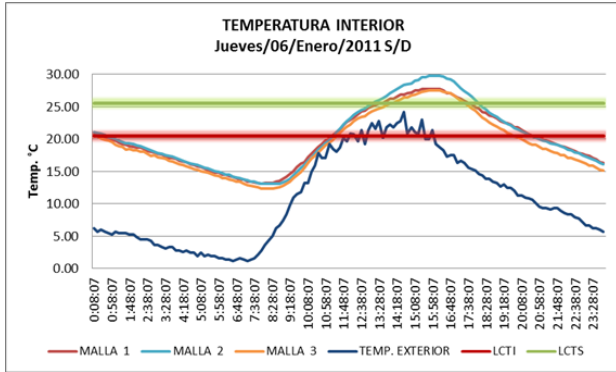


Fig. 202. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

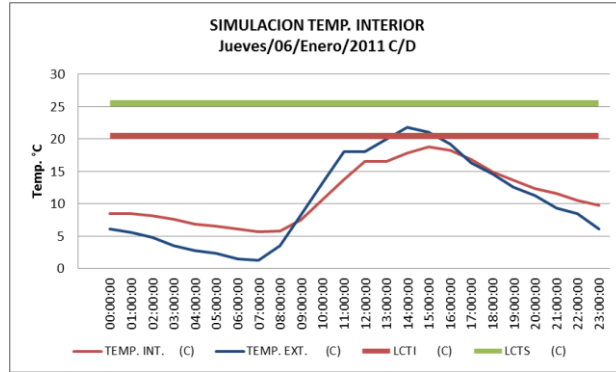


Fig. 203. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

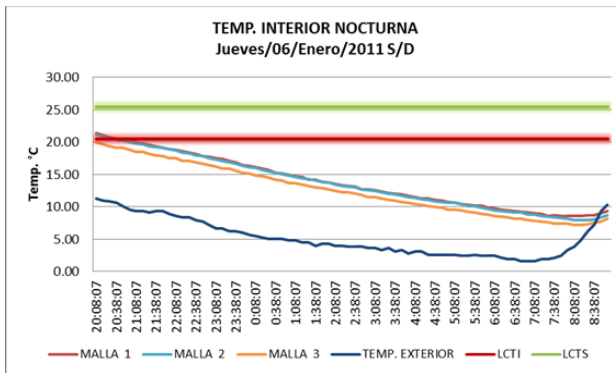


Fig. 204. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

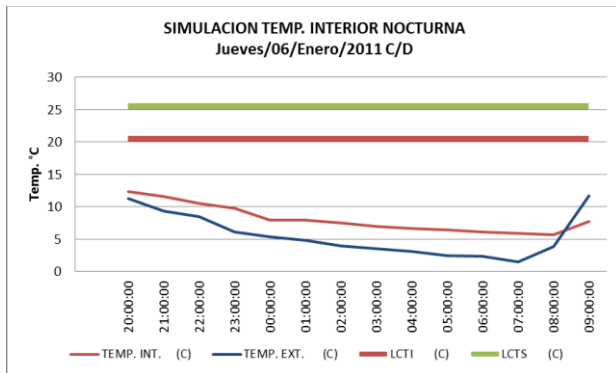


Fig. 205. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

En cuanto a las pérdidas y ganancias de energía del día 6 de enero de 2011 encontramos que la mayor pérdida de energía fue de las 6:00 am a las 8:00 am ya que llegaron hasta los 200 W/h, durante las 12:00 pm y las 5:00 pm las ganancias de energía fueron mínimas ya que apenas llegaron a los 25 W/h (fig. 206), esto explica el comportamiento de la temperatura interior durante las horas del día ya que se superaron los 25 °C al interior del módulo, lo cual indica que el aporte de energía en estas horas no era necesario.

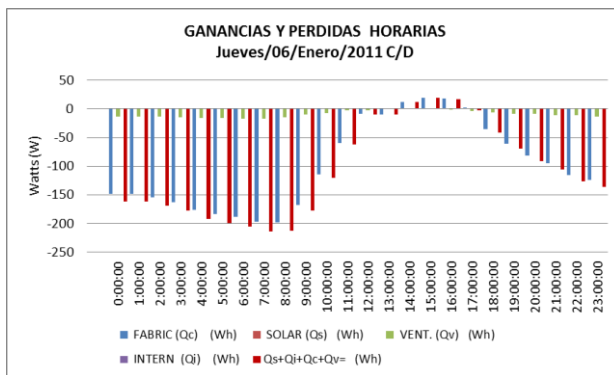


Fig. 206. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

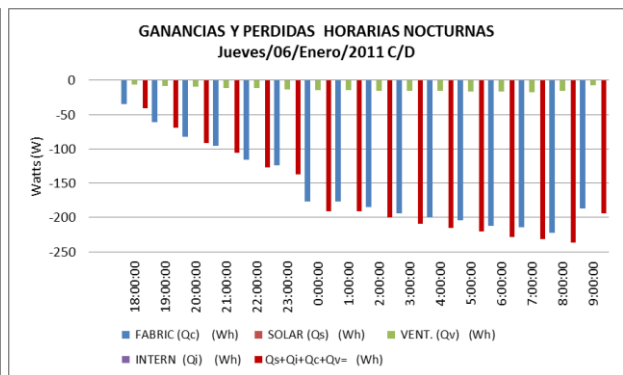


Fig. 207. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

La radiación solar para el día 6 de enero de 2011 superó los 500 W/m² a partir de las 9:00 am y en las horas del mediodía alcanzó los 900 W/m² (fig. 208), lo cual indica un buen aporte para el colector solar, en cuanto a la temperatura del piso encontramos que se mantuvo por debajo de los 25 °C y la temperatura del agua al interior del serpentín solo llegó a los 40 °C (fig. 209).

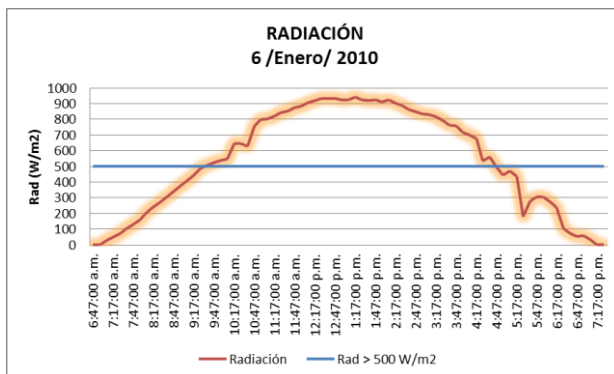


Fig. 208. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 6 de enero de 2011

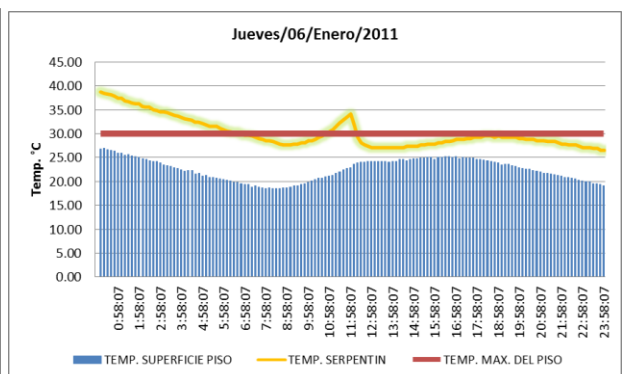


Fig. 209. Imagen que muestra la temperatura de la superficie del piso

En cuanto a la transferencia de calor encontramos que de las 12:00 am y hasta las 11:00 am se mantuvo arriba de los 170 W/h, después se presentó una interrupción del caudal de agua lo cual hizo que disminuyera la transferencia de calor hasta los 50 W/h durante tres horas y a partir de las 5:00 pm aumento pero solo alcanzó los 120 W/h (fig. 211).

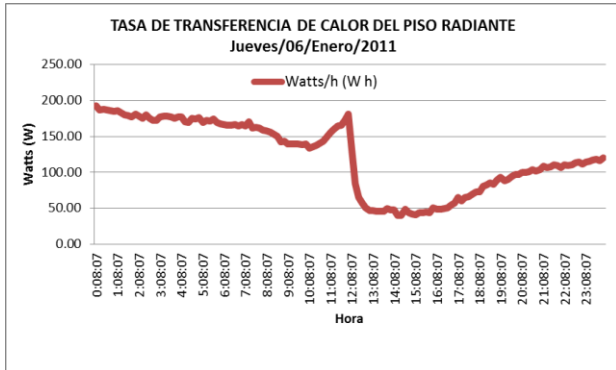


Fig. 210. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

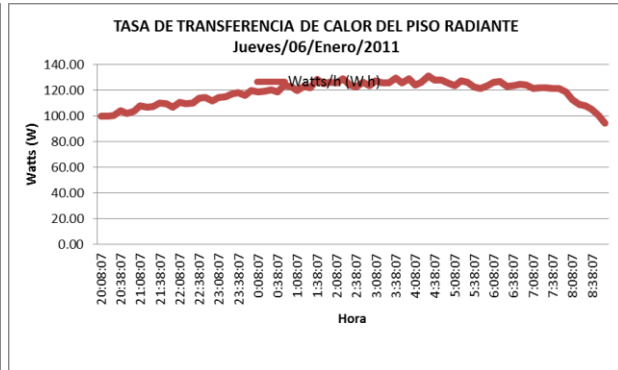


Fig. 211. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

Para el 8 de febrero del 2011 encontramos que la temperatura exterior durante las 12.00 am y hasta las 8:00 am está por debajo de los 5 °C, a partir de este punto la temperatura va en aumento y de las 11:00 am a las 4:00 pm supera los 20 °C, después desciende y llega hasta los 7 °C (fig. 213), esto nos indica requerimientos de calentamiento por la noche y solo alguna horas durante la mañana y tarde del día. Si observamos la simulación térmica del módulo se encuentra que la temperatura interior es muy similar a la exterior ya que la diferencia entre ambas apenas alcanza los 4 °C. Esto indica claramente que se requiere de un aporte de calor para llegar a una temperatura de confort.

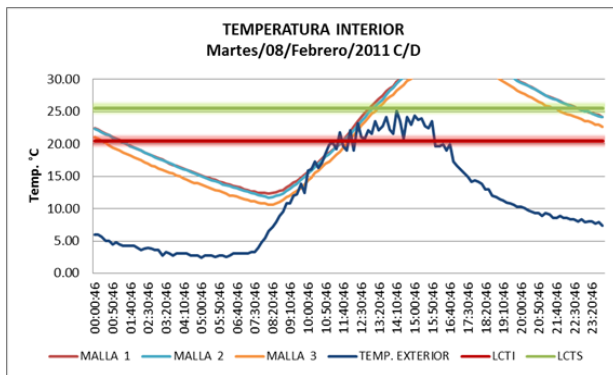


Fig. 212. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

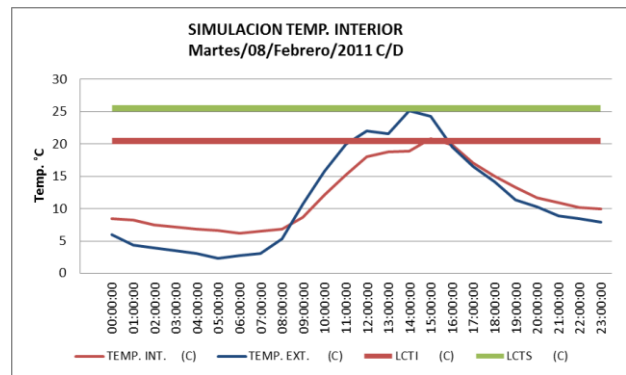


Fig. 213. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

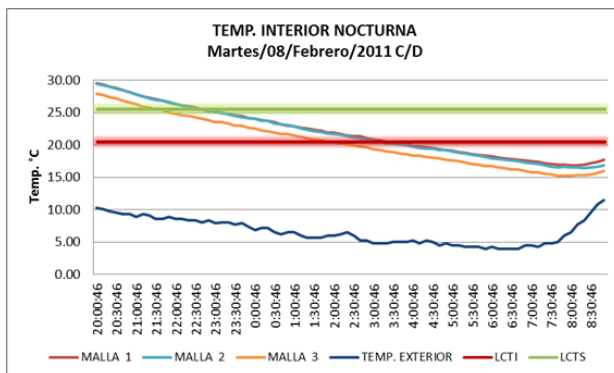


Fig. 214. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00

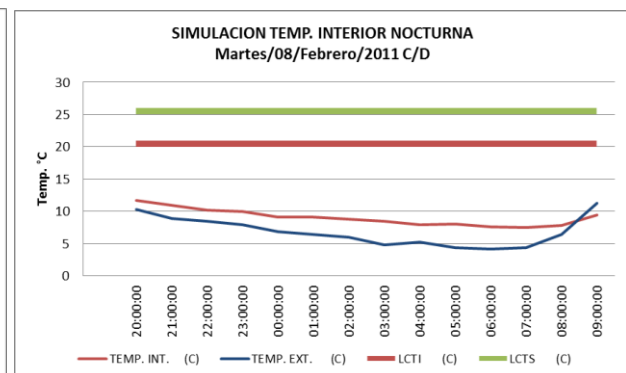


Fig. 215. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo

La figura 214 corrobora claramente lo descrito anteriormente debido a que la pérdida de energía es mayor durante la noche y la madrugada del 8 de febrero de 2011. Durante el día, se observan ganancias de energía, pero éstas son mínimas ya que solo llegan a los 20 W/h, esto indica que durante estas horas no es necesario usar el sistema de calefacción solar (fig. 214), ya que de hacerlo se sobrecalentaría el espacio interior incrementando la temperatura por arriba de los 25 °C tal y como se observa en la figura 214.

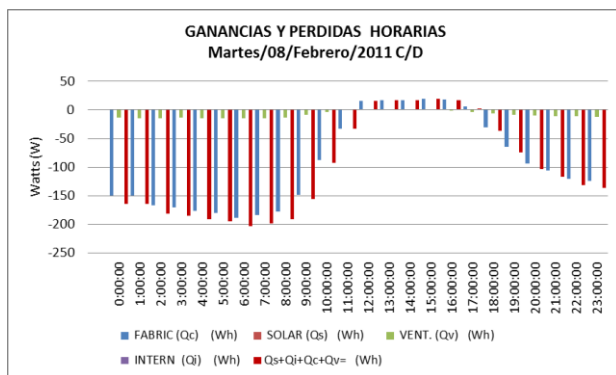


Fig. 216. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

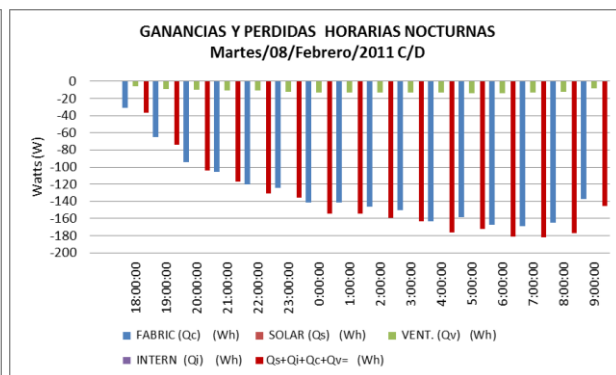


Fig. 217. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

En cuanto a la radiación solar encontramos un comportamiento inusual ya que en las primeras horas del día alcanzó los 1000 W/h, pero descendió durante el mediodía llegando hasta los 0 W/h, muy posiblemente provocado por la nubosidad, después de la 1:00 pm volvió a incrementarse superando los 500 W/h. Llegando a las 5:00 pm alcanzó nuevamente los 1000 W/h (fig.218), en cuanto a la temperatura del piso encontramos que durante las 2:00 pm y las 8:00 pm se superaron los 30 °C (fig.219) lo cual no es apto para el confort, ya que puede causar malestar al usuario. Esto puede corregir controlando el caudal del piso radiante en las horas en que no se necesita aporte de energía.

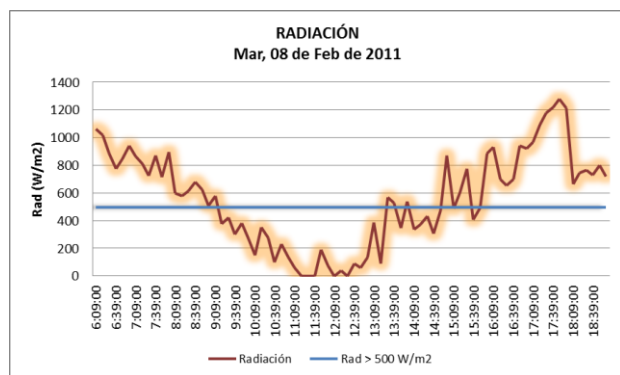


Fig. 218. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 08 de febrero de 2011

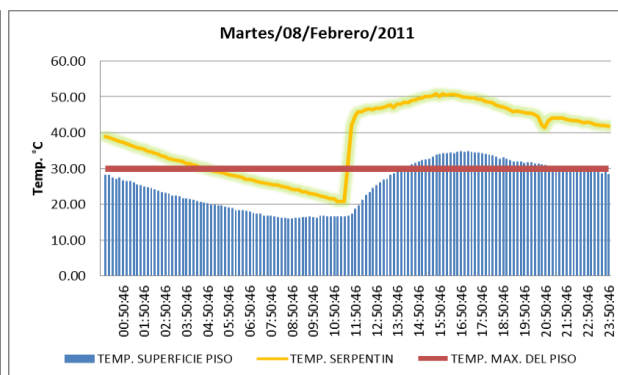


Fig. 219. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

La transferencia de calor nos indica que durante la noche y madrugada se superaron los 170W/h (fig. 221), sin embargo no fueron suficientes para compensar la pérdida de energía, entre las 9:00 am y las 12:00 pm hubo una interrupción en el caudal lo cual hizo que la transferencia de calor disminuyera. A partir de las 12 pm se restableció el caudal y la transferencia de calor por lo que éste aumento excesivamente llegando hasta los 400 W/h de las 12:00 pm a la 1:00 pm, después el flujo de calor descendió y se mantuvo por arriba de los 200 W/h (fig. 220).

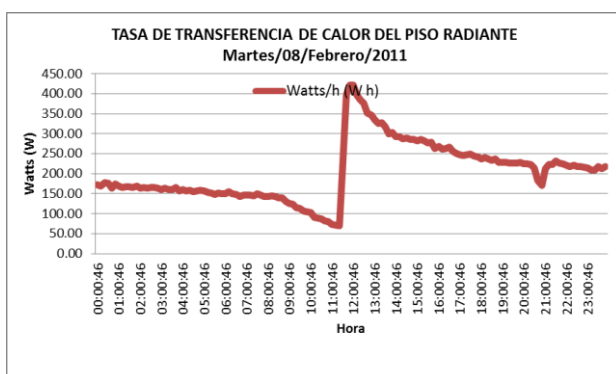


Fig. 220. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

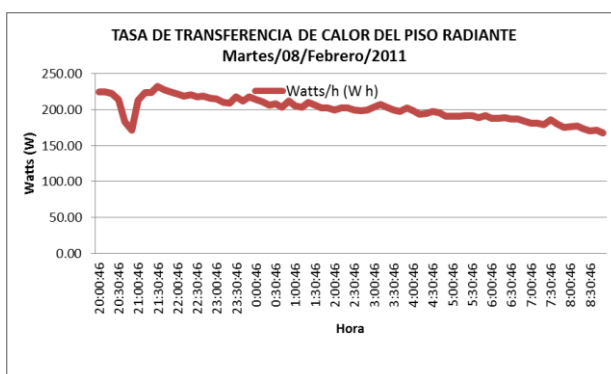


Fig. 221. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

Como se puede ver el desempeño del piso radiante hidrónico solar bajo su rendimiento en cuanto a transferencia de calor, ya que las pérdidas durante el día y la noche resultaron ser mayores a la energía almacenada en el termo tanque. Sin embargo, podemos observar que el aporte de calor del piso radiante sigue siendo bastante considerable ya que la temperatura interior alcanza la zona de confort entre las 8:00 pm y las 12:00 am, a partir de esta hora las temperatura interior desciende hasta los 17 °C en la mayoría de los casos; pero si comparamos la temperatura interior en este punto contra la temperatura interior del módulo sin el aporte del piso radiante, vemos que hay una diferencia de hasta 10 °C con el sistema de piso radiante en funcionamiento.

Se puede concluir en primer lugar que las temperaturas interiores de la simulación térmica del módulo y las temperaturas del módulo real sin el aporte de energía de piso radiante son muy similares, ya que las diferencias entre las temperaturas interiores de la simulación y las temperaturas interiores tomadas en el sitio tienen una diferencia mínima de 1 °C a 2 °C máximo en algunas horas de la noche y en la mayoría de las horas las temperaturas coinciden, esto nos da un parámetro de la exactitud de la simulación que se realizó al módulo, y permite establecer esta simulación como el principal punto de comparación que servirá para evaluar el sistema de piso radiante hidrónico solar.

En cuanto al periodo de evaluación del dispositivo de calefacción durante la noche, se encontró que el piso radiante eleva la temperatura interior a un rango de 20 °C a 24 °C de 8:00 pm a 2:00 am en la mayoría de los casos y de ahí desciende hasta los 15 °C, esto nos indica que el dispositivo logró llevar la temperatura interior a hasta el rango de confort durante la mitad del periodo de funcionamiento, a partir de este punto la temperatura interior desciende hasta llegar a los 15 °C. Sin embargo, comparando la temperatura al interior del módulo sin el aporte del piso radiante vemos que hay una diferencia de hasta 10 °C al interior del módulo poniendo en funcionamiento el piso radiante, esto en la mayoría de los casos, lo cual nos indica un buen desempeño del dispositivo de calefacción. Además se debe tomar en cuenta que no se utilizó ninguna fuente auxiliar de energía.

En la última prueba donde se puso en marcha el sistema de calefacción solar durante el día y la noche es decir las 24 horas del día, se encontró que el desempeño del piso radiante hidrónico solar bajo su rendimiento en cuanto a transferencia de calor principalmente en la noche, ya que las pérdidas durante el día y la noche resultaron ser mayores a la energía almacenada en el termo tanque, cabe mencionar que el cálculo del sistema de calefacción considero las pérdidas diarias de energía incluyendo las diurnas y nocturnas, sin embargo las temperaturas registradas en las mediciones fueron más bajas que las consideradas en el cálculo, lo cual supone reajustar el dimensionamiento del sistema de calefacción y considerar situaciones más críticas en cuanto a temperaturas bajas para mejorar el desempeño del piso radiante, otro factor que afecta el desempeño del sistema de calefacción es la disminución de la radiación solar que incide en el colector solar, ya que en algunos casos se presentaron días con nubosidad. Sin embargo,

podemos observar que el aporte de calor del piso radiante sigue siendo bastante considerable ya que la temperatura interior alcanza la zona de confort entre las 8:00 pm y las 12:00 am, a partir de esta hora la temperatura interior desciende hasta los 17 °C en la mayoría de los casos; pero si comparamos la temperatura interior en este punto contra la temperatura exterior y la temperatura interior del módulo sin el aporte del piso radiante se observa que hay una diferencia de hasta 10 °C con el sistema de piso radiante en funcionamiento. Durante el día la temperatura interior del módulo con el aporte de calor del piso radiante se mantuvo por arriba de los 18 °C y en algunos casos se superaron los 25 °C que es el límite superior del rango de confort, esto supone un excedente de energía que afecta el confort térmico, lo cual puede ser corregido ajustando el caudal del piso radiante o suspendiendo el flujo de agua cuando se exceden los 25 °C.

En cuanto al colector solar podemos concluir que se adaptó exitosamente al piso radiante, debido a que la energía acumulada en el piso durante las horas de mayor radiación es entregada al ambiente interior cuando la temperatura exterior es más baja y la necesidad de calefacción es mayor.

En cuanto al consumo de energía del sistema de la bomba circuladora de 1/8 de Hp (1 Hp = 746 W) del piso radiante es de 93.25 W. Esto traducido en KW seria 0.093 KW, si consideramos 12 horas de funcionamiento del sistema de calefacción tendríamos que el consumo diario de la bomba es de 1.116 KWh, si esto lo traducimos en pesos tomando en consideración que en promedio el Kilowatt-hora en la ciudad de México cuesta \$ 0.709 se tendría que en un día gastaríamos \$ 0.791 pesos. Si esto se multiplica por 60 días que es el periodo de tiempo que CFE considera para el pago del consumo eléctrico, tendríamos que el consumo bimestral sería de \$47.47 pesos. En comparación, si se utilizara un calefactor se tendría que cubrir 2337 Wh que es la carga térmica de calefacción, estos 2337 Wh diarios traducidos a KW serian 2.3 KWh mismos que multiplicados por el costo del kilowatts-hora que en promedio en la ciudad de México es de \$0.709 daría como resultado \$1.67 diarios, si esto se multiplica por los 60 días que es el periodo de tiempo que CFE considera para el pago del consumo eléctrico, tendríamos que el consumo bimestral sería de \$ 99.41. Sin embargo un calefactor eléctrico consume más energía de la que puede entregar, es decir, su eficiencia no es al 100 %, un calefactor eléctrico pequeño consume en promedio de 700 a 1000 W y tiene una eficacia de hasta 20 m² o 40 m³, este tipo de calefactor

es suficiente para calefactar el módulo experimental y mantenerlo a una temperatura aproximada de 20 °C. Si consideramos que el calefactor consume 700 W durante 12 horas de funcionamiento nocturno, que es el periodo con mayores pérdidas de energía, tendríamos 8400 Wh, mismos que traducidos a KWh serían 8.4 KWh, esto multiplicados por el costo del kilowatts-hora que en promedio para la Ciudad de México es de 0.709, nos daría como resultado \$5.95 diarios. Si esto lo multiplicamos por los 60 días que es el periodo de tiempo que CFE considera para el pago del consumo eléctrico, tendríamos que el consumo bimestral sería de \$ 357.33

Una vez realizado este análisis tomaremos como referencia los resultados obtenidos para dimensionar un sistema de piso radiante para una casa de interés social típica, considerando que se encuentra en las mismas condiciones climáticas, que el módulo analizado anteriormente.

8.6. DIMENSIONAMIENTO DE CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR PARA UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

La vivienda utilizada para dimensionar el sistema de piso radiante cuenta con 120 m² con dos niveles de 60 m², el primer nivel se compone de sala, comedor, baño y patio de servicio; el segundo nivel consta de 2 recamaras y baño completo (fig. 222). Para el dimensionamiento del piso radiante solo se contemplaron los espacios que se utilizan con mayor frecuencia en las horas de mayores pérdidas de energía y menor temperatura ambiente, estos espacios serán la sala, el comedor y las dos recamaras.



Fig. 222. Casa tipo de interés social de 120 m2. Casas Geo. Conjunto habitacional el Dorado. Fuente:
<http://casasgeo.com.mx>

El sistema constructivo de la vivienda es a base de block hueco de hormigón para los muros, el techo y el entrepiso son de vigueta y bovedilla de polietileno, y el piso es de mortero. Estos datos nos servirán para realizar el balance térmico y para determinar cuál es el coeficiente global de transferencia de calor (KG) de la vivienda, el cual servirá para determinar la potencia requerida de la cantidad de energía por unidad de tiempo que deben poder suministrar los elementos generadores y emisores de calor de las instalaciones de calefacción en unas condiciones de temperatura exterior mínima; cuando las pérdidas energéticas en un local habitado sean máximas.

Para determinar el KG utilizaremos la siguiente ecuación:

$$K_G = \frac{\sum K_E S_E + 0.5 \sum K_N S_N + 0.8 \sum K_Q S_Q + \sum K_S S_S}{\sum S_E + \sum S_N + \sum S_Q + \sum S_S} \dots\dots\dots (10)$$

Los datos de las propiedades de los materiales del sistema constructivo se encuentran resumidos en la tabla 29

Tabla 29. Muestra los datos necesarios para el cálculo de Kg.

| CALCULO DE K_G | | | | | | |
|---|-------------|--------------------------------------|--|--|--------------------------------------|--|
| Elemento constructivo | | Superficie S | Coeficient e K | $S K$ | Coef. | $S S K$ |
| | | m^2 | $kcal/h m^2$ $^{\circ}C$ ($W/m^2^{\circ}C$) (*A) | $kcal/h$ $^{\circ}C$ ($W/^{\circ}C$) | Corrector. n | $kcal/h$ $^{\circ}C$ ($W/^{\circ}C$) |
| Apartado E | | | | | | |
| Cerramientos en contacto con el ambiente exterior. | Tipo | S_E | K_E | $S_E K_E$ | 1 | $S S_E K_E$ |
| Huecos exteriores verticales, puertas, ventanas | Muro | 132 | 2.06 | 271.92 | 1 | 271.92 |
| Cerramientos verticales o inclinados más de 60° con la horizontal | | | | 0 | 1 | 0 |
| Forjados sobre espacios exteriores | | | | 0 | 1 | 0 |
| Apartado N | | | | | | |
| Cerramientos de separación con otros edificios o con locales no calefactados | Tipo | S_N | K_N | $S_N K_N$ | 0.5 | $S 0,5 S_N K_N$ |
| Cerramientos verticales de separación con locales no calefactados, o medianerías | | 55 | 2.06 | 113.3 | 0.5 | 56.65 |
| Forjados sobre espacios cerrados no calefactados de altura $> 1 m$ | | | | 0 | 0.5 | 0 |
| Huecos, puertas, ventanas | | | | 0 | 0.5 | 0 |
| Apartado Q | | | | | | |
| Cerramientos de techo o cubierta | Tipo | S_Q | K_Q | $S_Q K_Q$ | 0.8 | $S 0,8 S_Q K_Q$ |
| Huecos, lucernarios, claraboyas | Techo | 49.5 | 0.1 | 4.95 | 0.8 | 20.19 |
| Azoteas (*C) | | | | 0 | 0.8 | 0 |
| Cubiertas inclinadas menos de 60° con la horizontal | | | | 0 | 0.8 | 0 |
| Apartado S | | | | | | |
| Cerramientos de separación con el terreno (*B) | Tipo | S_S | K_S | $S_S K_S$ | 0.5 | $S 0,5 S_S K_S$ |
| Soleras | Piso | 49.5 | 0.1 | 4.95 | 0.5 | 2.47 |
| Forjados sobre espacios cerrados no calefactados de altura $> 1 m$ | Entrepiso | 49.5 | 0.1 | 4.95 | 0.5 | 2.47 |
| Muros enterrados o semienterrados | | | | 0 | 0.5 | 0 |
| Superficie total m^2 | | 335.5 |(1) | $\Sigma total.....(4)$ | | 363.86 |
| Volumen total $M3$ | | 300 |(2) | | | |

Tomando como referencia los datos de la tabla 29 encontramos que el KG de la vivienda es

$$K_G = \frac{\Sigma total-----(4)}{S total-----(1)} = 1.08 \left(\frac{W}{m^2} \text{ } ^\circ C \right) \dots\dots\dots(10)$$

Una vez calculado el K_G del edificio procederemos a determinar la potencia térmica necesaria en (W), esto lo haremos por medio de la siguiente ecuación:

$$p^* = K_G \cdot S_{ext} \cdot (T_a - T_e) + 0.35 \cdot N \cdot V_{int} \cdot (T_a - T_e) \text{ (W)} \dots\dots\dots(12)$$

Dónde:

Tabla 30. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la potencia térmica y sus valores.

| | | | |
|-----------|---|----------|----------------|
| P^* | Potencia térmica requerida W | ? | W |
| K_G | Coefficiente global de transmisión de calor de la edificación W/m °C | 1.085 | W/m °C |
| S_{ext} | Superficie total envolvente del edificio incluye suelo y techo m ² | 335.50 | M2 |
| T_a | Temperatura ambiente interior de diseño (°C) | 22 | °C |
| T_e | Temperatura exterior mínima de diseño (°C) | 0 | °C |
| N | Tasa de renovación de aire | 1.0 | r/h |
| V_{int} | Volumen interior de la edificación m ³ | 300.0 | m ³ |
| $P^* =$ | | 10314.99 | W |

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo la potencia térmica en Watts pasaremos a determinar la potencia corregida y la potencia del generador. “Para sistemas radiantes es necesario determinar la potencia térmica necesaria por unidad de superficie calefactora q^* , en W/m²” (Ortega 2001, pág. 100), es decir, cuantos watts por metro cuadrado hay que suministrar a un espacio para llevarlo a la temperatura deseada, esto lo haremos por medio de la siguiente fórmula:

$$q = \frac{P^*}{S_{int}} \dots\dots\dots(13)$$

Dónde:

Tabla 31. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la potencia corregida y sus valores.

| | | | |
|-----------|------------------------------|---------------|---------|
| q | Potencia corregida W/m^2 | ? | W/m^2 |
| P^* | Potencia térmica requerida W | 10314.99 | W |
| S_{int} | Superficie habitable m^2 | 99.0 | m^2 |
| $q^* =$ | | 104.19 | W/m^2 |

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenida la potencia corregida hay que agregar algunos coeficientes los cuales van a depender de las características de cada habitación. La potencia corregida para cada habitación es q_h , en W/m^2 resultaría de la siguiente expresión:

$$q_h = c_s \cdot c_p \cdot c_n \cdot c_{pv} \cdot q^* \dots \dots \dots (16)$$

Dónde:

Tabla 32. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de la Potencia corregida para cada habitación y sus valores.

| | | | |
|----------|---|---------------|---------|
| q_h | Potencia corregida para cada habitación | \dot{q} | W/m^2 |
| c_s | Coficiente de seguridad 1.1 | 1.1 | |
| c_p | Coficiente por el número de paredes externas (tabla 6.6) | 1.2 | |
| c_n | Coficiente en función de la orientación de la habitación, en caso de que se encuentre en una cara norte (tabla 6.6) | 1.1 | |
| c_{pv} | Factor de corrección según el tipo de pavimento y su espesor (gráfica 6.4) | 1.04 | |
| $q^* =$ | Potencia corregida W/m^2 | 104.19 | W/m^2 |
| q_h | | 157.34 | W/m^2 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

Como primer punto multiplicaremos por 1.1 como coeficiente de seguridad c_s acrecentando así un 10 % la potencia emisora de la superficie.

A continuación corregimos multiplicándolo por un coeficiente que tiene en cuenta el número de paredes exteriores de la estancia en cuestión C_p o bien su uso (cocinas, baños), este coeficiente se toma de la tabla 32.

Tabla 33. Coeficientes correctores de la potencia emisora.

| Otras estancias número de paredes exteriores | | | Tipo de estancia | |
|--|-----|------|------------------|--------|
| 1 | 2 | 3 | Baño o aseo | Cocina |
| 1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 0.9 |
| Si además la orientación es NORTE | | | | |
| 1.05 | 1.1 | 1.15 | 1,1 | 1.15 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

También se va a corregir en función de la orientación geográfica de la habitación, en el caso de que esta se encuentre en una cara norte C_n .

Debido a que cada tipo de pavimento (mármol o granito, cerámico, barro o parquet, etc.) tiene distinta conductividad térmica y distinto espesor, debemos corregir la potencia emisora multiplicando por un coeficiente C_{pv} el cual podemos obtener de la gráfica 223.

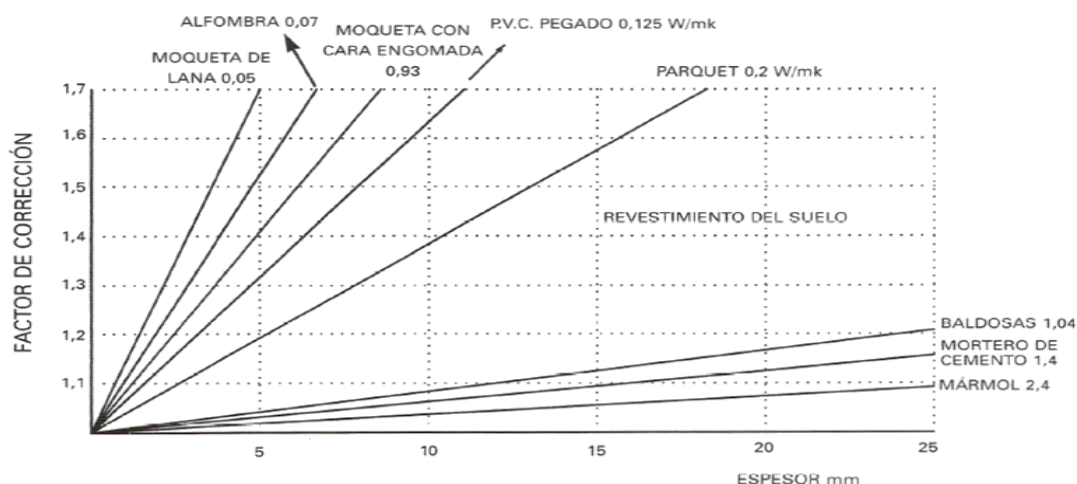


Fig.223. Factor de corrección C_{pv} según el tipo y espesor del pavimento. Fuente: Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes

La potencia necesaria de los generadores de calor se calcula en base a las condiciones climáticas más adversas, es decir, para una temperatura exterior mínima. Para esto, primero tenemos que conocer cuáles son las necesidades energéticas diarias, estas las podemos observar en la gráfica 224.

Tabla 34. Muestra el balance térmico horario de la vivienda.

| <i>HOURLY GAINS - Monday 31st December (365)</i> | | | | | |
|--|---|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| <i>Zona: Casa</i> | | | | | |
| BALANCE TERMICO | | | | | |
| HORA | FABRIC (Q_c) | SOLAR (Q_s) | VENT. (Q_v) | INTERN (Q_i) | $Q_s+Q_i+Q_c+Q_v=$ |
| | (Wh) | (Wh) | (Wh) | (Wh) | (Wh) |
| 00:00 | -590 | 0 | -1006 | 285 | -1311.0 |
| 01:00 | -691 | 0 | -766 | 285 | -1172.0 |
| 02:00 | -853 | 0 | -1437 | 285 | -2005.0 |
| 03:00 | -957 | 0 | -1204 | 285 | -1876.0 |
| 04:00 | -1149 | 0 | -1314 | 285 | -2178.0 |
| 05:00 | -1197 | 0 | -1411 | 285 | -2323.0 |
| 06:00 | -1244 | 0 | -1724 | 285 | -2683.0 |
| 07:00 | -1484 | 16 | -1204 | 285 | -2387.0 |
| 08:00 | -1437 | 130 | -876 | 285 | -1898.0 |
| 09:00 | -1396 | 239 | -575 | 285 | -1447.0 |
| 10:00 | -1144 | 328 | -144 | 285 | -675.0 |
| 11:00 | -1069 | 858 | -28 | 285 | 46.0 |
| 12:00 | -784 | 408 | 0 | 285 | -91.0 |
| 13:00 | -382 | 396 | 0 | 285 | 299.0 |
| 14:00 | 215 | 351 | 0 | 285 | 851.0 |
| 15:00 | 335 | 269 | 0 | 285 | 889.0 |
| 16:00 | 745 | 460 | 0 | 285 | 1490.0 |
| 17:00 | 429 | 257 | 0 | 285 | 971.0 |
| 18:00 | 372 | 0 | 0 | 285 | 657.0 |
| 19:00 | 360 | 0 | -75 | 285 | 570.0 |
| 20:00 | 161 | 0 | -269 | 285 | 177.0 |
| 21:00 | 112 | 0 | -435 | 285 | -38.0 |
| 22:00 | -68 | 0 | -471 | 285 | -254.0 |
| 23:00 | -237 | 0 | -719 | 285 | -671.0 |
| TOTAL | -11955 | 3713 | -13657 | 6840 | -15059.0 W/h |
| TOTAL | <i>Necesidades energéticas diarias Kcal</i> | | | | -12948.40 Kcal |

Fuente: Elaboración propia

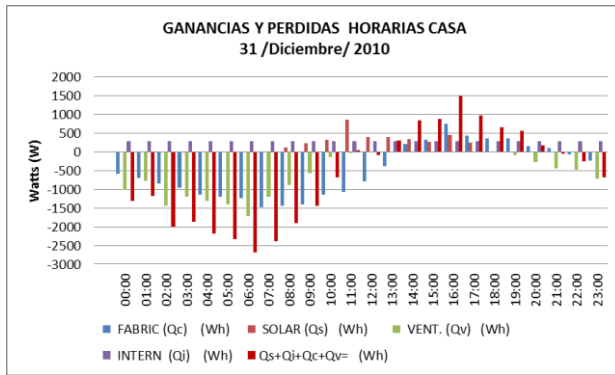


Fig. 224. Muestra el balance térmico horario de la vivienda. Fuente: Elaboración propia

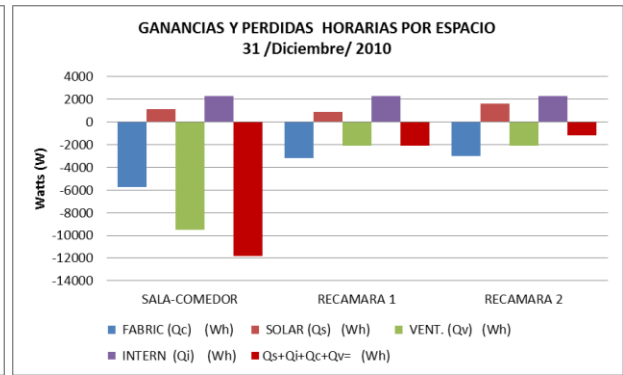


Fig. 225. Muestra el balance térmico por espacio. Fuente: Elaboración propia

La superficie de captación necesaria se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{Q_{diarias}}{I_t \cdot n} \cdot f \dots \dots \dots (14)$$

Dónde:

Tabla 35. Muestra las variables que se involucran en la fórmula de Superficie necesaria de colectores solares y sus valores.

| | | | |
|----------------------|---|--------------|------------------|
| <i>S</i> : | Superficie necesaria de colectores solares [m ²] | ? | M2 |
| <i>Qd</i> | Necesidades energéticas diarias de calefacción (kcal o Wh) | 12948.4 | kcal o Wh |
| <i>I_t</i> | Intensidad de radiación media incidente W/m ² | 700 | W/m ² |
| <i>n</i> | Rendimiento de los colectores según la curva de eficiencia del fabricante (%) | 0.8 | % |
| <i>f</i> | Factor de cobertura de las necesidades energéticas diarias en tanto por uno | 0.50 | % |
| | S= | 11.56 | m ² |

Fuente: Elaboración propia.

Otra forma de calcular la superficie de colectores solares es en función de la cantidad de agua caliente. Además si se quiere acumular energía para cederla a la vivienda cuando el generador no esté funcionando se debe dimensionar el acumulador según la siguiente expresión:

$$:V = \frac{Q-S \cdot [e_m \cdot C_{pm} \cdot d_m \cdot (T_{im} - T_{fm}) - e_s \cdot C_{ps} \cdot d_s \cdot (T_{is} - T_{fs})]}{T_{fa} - T_{ia}} \dots \dots (21)$$

Dónde:

Tabla 36 Muestra las variables que se involucran en la fórmula del volumen de tanque de acumulación y sus valores.

| | | | |
|---|--|-------------|-------------------|
| V | Volumen del depósito acumulador en m ³ | ? | M2 |
| Q | Kilocalorías que pierde la vivienda en las horas en que no está funcionando el generador | 3108.1 | Kcal o Wh |
| e_m | Espesor de la losa de mortero en (m) | 0.05 | m |
| e_s | Espesor de la solería en m | 0.005 | m |
| S | Superficie de la vivienda en m ² | 99 | m ² |
| C_{pm} | Calor específico del mortero 0.24 Kcal/Kg °C | 0.24 | Kcal/Kg °C |
| C_{ps} | Calor específico del material del suelo 0.24 Kcal/Kg °C | 0.24 | Kcal/Kg °C |
| d_m | Densidad del mortero 1,800 a 2000 Kg/m ³ | 2000 | Kg/m ³ |
| d_s | Densidad del material del suelo Kg/m ³ | 1800 | Kg/m ³ |
| T_{im} | Temperatura inicial del mortero después del periodo de calentamiento entre 30 y 32 °C | 31 | °C |
| T_{fm} | Temperatura final del mortero después del periodo de enfriamiento fijada en 19 °C | 19 | °C |
| T_{is} | Temperatura inicial del solado después del periodo de calentamiento entre 29 y 30 °C | 30 | °C |
| T_{fs} | Temperatura final del solado después del periodo de enfriamiento fijada en 18 °C | 18 | °C |
| T_{ia} | Temperatura inicial del agua en el depósito 18 °C | 18 | °C |
| T_{fa} | Temperatura final del agua en el depósito después del calentamiento 90 °C | 60 | 70 |
| Volumen del depósito acumulador en m³ | | 0,66 | |

Fuente: Elaboración propia con datos de Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes.

El volumen de acumulación sale más pequeño cuanto mayor sea el tiempo de encendido del generador ya que Q resulta de:

$$Q = P \cdot N \dots \dots \dots (24)$$

Dónde:

N^o : De horas en que el dispositivo está apagado

P : Son las pérdidas térmicas medias horarias en Kcal/h de la vivienda o la edificación, que pueden obtenerse dividiendo entre 24 horas el valor de $Q_{diarias}$

De esta manera podemos calcular el número de colectores solares. Si observamos las medidas y las capacidades de los colectores más comerciales en México encontramos que los colectores más comerciales son de las siguientes capacidades y medidas (ver tabla 37)

Tabla 37. Muestra las capacidades, medidas y número de tubos de los colectores solares

| Capacidad de los calentadores solares |
|--|
| 125 L: 1 a 2 personas (12 tubos), 2.38 m ² y 1.40. x 1.70 |
| 175 L: 1 a 2 personas (15 tubos), 2.76 m ² y 1.58. x 1.75 |
| 210 L: 2 a 3 personas (18 tubos), 2.80 m ² y 1.65. x 1.70 |
| 270 L: 4 a 6 personas (24 tubos), 3.70 m ² y 1.85 X 2.00 |
| 340 L: 6 a 8 personas (30 tubos), 5.10 m ² y 2.55 X 2.00 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Censolar. <http://www.censolar.edu>

Tomando en consideración los datos de la tabla 36 vemos que necesitaríamos 2 colectores solares de tubos evacuados de 340 litros (30 tubos), con un área de 5.10 m² y con medidas de 2.55 X 2.00, cada uno. Con estos se puede cubrir la demanda de agua caliente necesaria para el funcionamiento del piso radiante en una vivienda de interés social.

Utilizando este sistema estaríamos ahorrando **15059.0 Wh** traducido a kilowatts-hora serían 15.059 KWh diarios, menos el consumo de la bomba circuladora que es de 1/8 de Hp (1 Hp = 746W) que consume 93.25 W. Esto traducido en KW sería 0.093 KW, si se considera 12 horas de funcionamiento del sistema de calefacción se tendría que el consumo diario de la bomba es de 1.116 KWh, es decir, en total se ahorraría 13.943 KWh al día si esto se traduce en pesos tomando en consideración que en promedio el Kilowatt-hora en la ciudad de México cuesta \$0.709 se tendría que en un día se gastaría 9.88 pesos. Si esto se multiplica por los 60 días que es el periodo de tiempo que CFE considera para el pago del consumo eléctrico, se obtendría que el consumo bimestral sería de \$593.13 pesos; es decir se estaría ahorrando esta cantidad en un bimestre. Esto considerando únicamente que se cubrirán las pérdidas de energía exactas, sin embargo, no existen calefactores que sean 100 % eficientes y que entregue la misma energía que consumen en forma de calor.

Un calefactor eléctrico consume más energía de la que puede entregar en forma de calor, ya que su eficiencia no es del 100 %. Para calentar los espacios con mayores pedidas en esta vivienda se necesitan tres calefactores independientes o una unidad de calefacción central, la cual es muy costosa y económicamente no sería viable para este tipo de vivienda, por lo tanto calcularemos el consumo de energía en base a tres calefactores eléctricos, los cuales consumen de 1100 W a 1800

W dependiendo de la potencia requerida, estos equipos puede elevar la temperatura a un rango de 20 °C en un área de 20 m² o un volumen de 50 m³ (fig. 226)



| DATOS TECNICOS | EQUIPOS Y VENTAJAS |
|---|---|
| Dimensiones: 21 x 23 x 54 cm. Peso: 3,5 Kg. Voltaje : 220/240 VAC 50Hz Potencia absorbida : 1100w / 1800 w Eficacia : habitaciones medianas. Número de velocidades : 2 + automatico Tecnología : Cerámico ventilado Transporte: puñado incorporado. Color: Gris negro. Certificaciones : CE, TUV | <ul style="list-style-type: none"> • Mando a distancia. • Termostato electrónico. • 3 modos suave-fuerte y automático. (termostato)+funciones programable. • 2 potencias 1100 w / 1800 w • oscilación 120° • Visualización digital para una mejor visibilidad de la temperatura • Reloj ajustable de 1 a 8 horas. • Seguridad térmica. |

Fig. 226. Muestra los datos técnicos de un calefactor eléctrico. Fuente: <http://www.climatime.com>

Este tipo de calefactor es suficiente para calentar un espacio de 25 m², por tal razón es óptimo para calentar una recámara con un área de 22.5 m² y mantenerlo a una temperatura aproximada de 20 °C, si consideramos que el calefactor funciona a 1100 W, es decir, a la potencia mínima según sus especificaciones durante 12 horas de funcionamiento nocturno, que es el periodo con mayores pérdidas de energía, tendríamos 13200 Wh, esto solo para una habitación, pero tomando en cuenta que en la vivienda hay dos habitaciones con las mismas dimensiones, entonces obtendríamos 31,900 Wh, por otra parte también tendríamos que cubrir las pérdidas de energía de la sala y comedor, en este caso solo consideraremos 5 horas de funcionamiento de un calefactor eléctrico para la sala, que es uno de los espacios más usado, entonces tendríamos 5500 Wh, mismos que traducidos a KWh serian 31.9 KWh esto multiplicados por el costo del kilowatts-hora que en promedio en la ciudad de México es de 0.709, nos daría como resultado \$22.62 diarios. Si esta cantidad la multiplicamos por los 60 días que es el periodo de tiempo que CFE considera para el pago del consumo eléctrico, tendríamos que el consumo bimestral sería de \$ 1, 357.026 pesos

Esto nos indica que calentar una vivienda con este tipo de calefactores no es económicamente viable, ya que las condiciones económicas de los usuarios de este tipo de viviendas son muy precarias y si a esto le sumamos el precios de los calefactores con una potencia de entre 1100 y 1800 W que en promedio cuestan \$700 pesos, en total tendríamos \$ 3,457.026 en consumo eléctrico

En contraste con el sistema de calefacción de piso radiante solo gastaría $(1.116 \text{ KW día} \times \$0.709 \times 60 \text{ días} = \$47.476)$ \$47.476 pesos al bimestre, y se tendría un espacio con condiciones térmicas más confortables para los usuarios.

A nuestro parecer la mejor inversión es aquella que es segura a largo plazo. Es por ello que las inversiones más apreciadas son las ligadas a la tierra, a la vivienda o las que producen algo remunerable a largo plazo.

Vamos a ver cómo se comporta nuestro sistema de calefacción solar si valoramos esta condicionante en nuestra inversión.

Después de saber el número total de litros (en este caso 660 litros), es necesario considerar si se requiere un sistema que soporte alta presión. (Sistema de hidroneumático) Para identificar de forma sencilla este factor basta con saber si tienes un tinaco en la azotea. De ser así, la presión del sistema no es elevada y bastaría con un Sistema de Gravedad.

La tabla 38 muestra la lista de precios de los calentadores de agua de tubos evacuados más comunes en el mercado mexicano

Tabla 38. Lista de Precios de los Calentadores Solares Ecotecn

| Litros por equipo | Modelo | Precio |
|--------------------------|---------------|---------------|
| 110 | G056- 07 | 7,161.05 |
| 150 | G150-20 | 9,104.55 |
| 180 | G180-24 | 10,599.55 |
| 250 | G250-30 | 12,991.55 |
| 300 | G300-30 | 14,878.55 |
| 340 | G340-30 | 16,987.55 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Calentadores Solares Ecotecn. Funte: <http://www.calentadores-solares.net/precios.html>

En caso de que se requiera un volumen superior se pueden combinar los equipos obteniendo el total de litros requeridos.

Volviendo al ejemplo anterior, requeriríamos un equipo de 660 litros, en este caso usaríamos dos de 340 litros, cada uno tiene un costo aproximado de \$14,987.55 pesos. Por lo tanto tendríamos un costo total de \$ 29,975.1 pesos. A esta cantidad hay que sumarle el costo de la bomba circuladora que en promedio cuesta \$700 pesos, más el termostato programable el cual en promedio cuesta \$560 pesos, más el serpentín de polietileno que en promedio cuesta 570 pesos el rollo de 50 m, en este caso se necesitan 3, por lo tanto tendríamos \$1,710 para el polietileno, por ultimo habría que sumar el costo del aislante térmico (poliestireno expandido de alta densidad) que en promedio cuesta \$52 el m² , por consiguiente tendríamos que \$52 pesos por 90 m² del área que se aislara, da como resultado \$5,148. Además, es necesario considerar el costo de la instalación, el cual lo puede realizar cualquier persona dedicada a la plomería siguiendo al pie de la letra la guía de instalación contenido en el equipo.

El costo de Instalación varía y generalmente deberá costar entre \$2,500 y \$3,000 pesos incluyendo el armado del equipo.

El retorno de la inversión para un sistema residencial se encuentra entre los 6.9 años. Esto se puede verificar tomando el gasto mensual de electricidad que se consume para calefacción al 80 % y dividiéndolo entre el costo de la inversión:

Tabla 39. Costo total de la inversión

| Equipo | Costo del equipo |
|--|-------------------------|
| 2 Calentador solar 340 L | \$29,975.1 |
| Bomba circuladora | \$700 |
| Termostato Programable | \$560 |
| 150 m polietileno | \$1,710 |
| 90 m ² Poliestireno expandido | \$5,148 |
| Costo instalación | \$2500 |
| Costo total de inversión | \$40,593.1 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Calentadores Solares Ecoteco.

Costo total de inversión / (80 % X gasto mensual de energía eléctrica) = Tiempo de retorno de inversión en meses.

$$\frac{\text{Costo total de inversión}}{(80 \% \text{ X gasto mensual de energía eléctrica})} = \text{Tiempo de retorno de inversión en meses.}$$

Costo del equipo + instalación = Inversión

$$38,093.1 + 2,500 = \$40,593.1 \text{ pesos}$$

$$42,693 / (0.80 \text{ X } 678.513) = 81.34 \text{ Meses} = 6 \text{ años } 9 \text{ meses}$$

Como el tiempo de duración de los equipos en promedio es de 20 años, esta inversión representa un ahorro de 13 años del 80 % del consumo de energía eléctrica por climatización que tenga, es decir:

$$(0.80 \text{ X } 678.5) = \$542.8 \text{ de ahorro al mes}$$

Asumiendo que el precio de la energía eléctrica no aumentara, después del tiempo de recuperación, se habrá ahorrado en 13 años (156 meses x \$542.8 pesos) = \$84.676.8 solo por haber invertido \$40,593.1 pesos, es decir, más de doble de la inversión inicial

Los investigadores expertos o especializados en energía solar aseguran que este es el único recurso el cual está garantizado por los próximos 6.000 millones de años, es que el Sol es una fuente inagotable de calor y energía y si el hombre la aprovecha debidamente, la dependencia de los combustibles fósiles será historia. Pero para lograr un eficiente aprovechamiento de este recurso es necesario que se den a conocer públicamente los diferentes tipos de aplicación de la energía solar, es de vital importancia proseguir con el desarrollo de la capacitación, acumulación y distribución de este recurso, ya que esta es la única forma de asegurar un futuro limpio y con un abastecimiento de necesidades prolongado.

8.7. ESTIMACIÓN DE EMISIÓN DE CO₂ EVITADOS POR EL USO DE UN PISO RADIANTE

La producción de un kWh de electricidad se pueden hacer usando diferentes fuentes de energía, cada fuente puede ser caracterizado por un factor que indica cuántos kilogramos de CO₂ se liberan a la atmósfera para producir 1 kWh de electricidad (estos factores son los cambios que dependen de la eficiencia de la misma estación y la red de distribución).

Algunas de las fuentes de energía son el petróleo, el gas natural, carbón, residuos municipales (térmica), el uranio enriquecido (nucleares, gradientes de agua (hidroeléctrica), el calor de la tierra (geotérmica), eólica (viento), solar (fotovoltaica, solar térmica), biomasa, etc. Cada nación tiene una mezcla de plantas de energía que utilizan diferentes fuentes de energía, entonces el valor de kg de CO₂ / kWh será diferente para cada país, este factor puede ser usada para calcular los kg de emisiones de CO₂ evitadas en el medio ambiente en el país donde el equipo esté instalado.

El factor de emisión de electricidad que se emplea para la estimación de emisiones alcance 2 (provenientes de uso de electricidad comprada) varía cada año de acuerdo a la mezcla de

combustibles empleados en la generación de electricidad que se compra al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

La estructura del sistema eléctrico en México está compuesta por dos sectores, el público y el privado. El sector público lo integra la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y los productores independientes de energía (PIE). El sector privado agrupa las modalidades de cogeneración, autoabastecimiento, usos propios y exportaciones. Para fines de los factores de emisión estimados en este documento y conforme a las metodologías empleadas para su cálculo, sólo se considera la electricidad entregada a la red, es decir, en el caso del sector privado, se referirá únicamente a los excedentes entregados a CFE. En la tabla 40 se muestra el factor de emisión de CO₂ para Mexico de los últimos diez años.

Tabla 40. Factores de emisión de electricidad promedio en México [ton CO₂eq/MWh]

| Año | Factor de emisión de electricidad promedio |
|-------------|--|
| | [ton CO ₂ /KWh] |
| 2000 | 0.6043 |
| 2001 | 0.6188 |
| 2002 | 0.6046 |
| 2003 | 0.6080 |
| 2004 | 0.5484 |
| 2005 | 0.5557 |
| 2006 | 0.5283 |
| 2007 | 0.5208 |
| 2008 | 0.4698 |
| 2009 | 0.5057 |
| 2010 | 0.4946 |

Fuente: Elaboración propia con datos de www.geimexico.org/factor.html

Retomando el ejemplo de la vivienda utilizada para dimensionar el sistema de piso radiante de 120 m², en donde se necesitaban 31,900 Wh que consumen tres calefactores eléctricos para mantener a la vivienda en una temperatura de entre 20 y 25°C, estimaremos las emisiones de CO₂ evitadas por el uso del piso radiante. En base a los datos de temperatura anuales y los días grado (fig. 77 y 78) consideraremos solo los meses con temperaturas nocturnas que están por

debajo de los 15°C, de esta forma tendríamos 6 meses que son: enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre. Si multiplicamos estos 6 meses los cuales representarían 180 días por 31,900 Wh mismos que traducidos a KWh serian 31.9 KWh obtendríamos:

$$31.9 \text{ KWh} \times 180 = 5742 \text{ KWh/año}$$

Si esto lo multiplicamos por el Factor de emisión de electricidad promedio de México obtendríamos que las emisiones de CO2 al año son:

$$5742 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \times 0,495 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 2839.9932 \text{ kg CO}_2 \text{ año}$$

Tabla 41. Conversión de consumos energéticos a emisiones de CO2 equivalentes

| Fuente energética | Consumo anual | Unidad | X | Factor conversión | = | Emisiones (kg CO2 eq.) |
|-------------------|---------------|--------|---|-------------------|---|------------------------|
| Electricidad | 5742 | kWh | x | 0,495 kg CO2/kWh | = | 2839.9932 |

Fuente: Elaboración propia con datos de www.geimexico.org/factor.html

En contraste con el sistema de calefacción de piso radiante solo utilizaríamos 1.116 KWh, esto multiplicado por 180 días obtendríamos:

$$1.116 \text{ KWh} \times 180 = 200.88 \text{ KWh/año}$$

Si esto lo multiplicamos por el Factor de emisión de electricidad promedio de México obtendríamos las emisiones de CO2 al año son:

$$200.88 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} \times 0,495 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 99.43 \text{ kg CO}_2 \text{ año}$$

Tabla 42. Conversión de consumos energéticos a emisiones de CO2 equivalentes

| Fuente energética | Consumo anual | Unidad | X | Factor conversión | = | Emisiones (kg CO2 eq.) |
|-------------------|---------------|--------|---|-------------------|---|------------------------|
| Electricidad | 200.88 | kWh | x | 0,495 kg CO2/kWh | = | 99.43 |

Fuente: Elaboración propia con datos de www.geimexico.org/factor.html

Por lo tanto tendríamos que las emisiones de CO2 evitados por el uso de un piso radiante son:

$$2839.99 \text{ kg CO}_2 \text{ año} - 99.43 \text{ kg CO}_2 \text{ año} = \mathbf{2740.56 \text{ kg CO}_2 \text{ año}}$$

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación se sentaron las bases que permitieron dar sustento a la hipótesis que guió a la presente, en la cual se plantea que la promoción y variedad de sistemas mecánicos de calefacción y calentamiento de agua, aunado a los altos costos de los sistemas solares de calefacción, a la carencia de recursos económicos por parte de los usuarios, a la falta de información técnica que promueva el uso de los sistemas solares de calefacción y al calentamiento de agua, imposibilitan la implementación de estos sistemas en la vivienda de interés social.

En este sentido la tecnología de la energía solar en México se ha ido adaptando a las necesidades de los usuarios en la vida cotidiana, por lo que es posible economizar gran porcentaje del consumo energético del país sin requerir de sofisticada tecnología de importación la cual resulta sumamente costosa. Es pertinente señalar que la energía solar no sustituirá a las otras fuentes de energía sino fungirá como un recurso complementario.

El uso de la energía solar posee grandes ventajas, sin embargo su viabilidad se ha visto obstaculizada por el costo que conlleva su aplicación. A pesar de las investigaciones que se han realizado demostrando la factibilidad de captar la energía solar para obtener calefacción y electricidad, no se ha logrado reducir significativamente los costos que esto conlleva restándole por tanto, competitividad frente al carbón, el petróleo y el gas natural.

Entre las dificultades que han ocasionado que la energía solar no sea rentable se encuentra el hecho de que el sol no brilla todo el tiempo y que, aun cuando lo hace, su energía es esparcida tan finamente a través de la superficie de la tierra que se requiere de costosos aparatos de distinta complejidad para captarla, concentrarla y almacenarla. A pesar de esto, la aplicación de la energía solar no resulta tan costosa en ciertos casos. Por ejemplo, en el calentamiento de agua para uso sanitario o en sistemas de calefacción solar activa, para ello es necesario brindar la suficiente información que demuestre que la inversión inicial se amortiza a mediano plazo, y luego genera una zona de ahorro que se extiende por el resto de la vida útil de estos sistemas, que va de 15 a 20 años.

Las características climáticas de cada región son un factor muy importante que se debe considerar al momento de hacer uso de la energía solar, ya sea de manera pasiva o activa, debido a que la implementación del captador solar requiere considerar la orientación óptima así como los niveles de radiación solar incidentes en una zona determinada. En este sentido la ciudad de México posee un buen nivel de radiación solar, ya que supera los 700W/m^2 , lo cual indica que es una región óptima para aprovechar de manera eficiente la energía solar, además considerando que el clima es templado semifrío resultaría poco razonable no utilizar la energía solar para mejorar las condiciones de confort de las edificaciones. El análisis climático realizado en esta investigación muestra que la principal estrategia de diseño bioclimático para la Ciudad de México es sin lugar a dudas el calentamiento, el cual deberá propiciarse tanto de manera directa como indirecta, ya sea por medios pasivos o activos, por lo tanto será necesario aprovechar al máximo las ganancias solares, con excepción de los meses de marzo y abril en donde la temperatura se eleva por arriba de los $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En México, existen más de 23 millones de viviendas, en donde el incremento en el uso de energía se debe a la necesidad de climatizar el ambiente, así el aumento en el consumo de ésta se relaciona con tres factores: el clima del lugar, la ineficiencia tecnológica y el diseño inadecuado de la vivienda, elementos que pueden presentarse combinados o de manera individual. Por tal motivo es indispensable conocer las condiciones climáticas de la región que afectan el confort térmico en las viviendas, lo cual permitirá establecer estrategias básicas para disminuir el consumo energético y mejorar las condiciones de confort en las mismas. Algunas estrategias básicas resultantes del análisis climático de la ciudad de México serían orientar las superficies acristaladas hacia el Este, Sureste y Sur, previendo algún sistema de control solar para primavera y aprovechar las ganancias internas para el calentamiento. Para evitar las pérdidas convectivas es necesario un buen diseño de ventanas y puertas las cuales deberán brindar un sellado adecuado principalmente por las noches para evitar las pérdidas de calor hacia el ambiente exterior. Debido a la amplitud de la oscilación térmica ($13\text{ }^{\circ}\text{C}$ en promedio) el uso de estructuras masivas (mamposterías) estabiliza la temperatura interior y minimiza los consumos energéticos. En contraposición, las envolventes ligeras (cristal) tienen cargas significativas de enfriamiento

durante el día y calefacción durante la noche. Estos fenómenos se agudizan de marzo a abril y de diciembre a enero respectivamente.

La implementación de estas estrategias de diseño bioclimático presuponen condiciones térmicas confortables para las viviendas y buscan disminuir el consumo energético causado por el uso de sistemas de climatización, combinando estas estrategias con el uso de la energía solar por medio de dispositivos de calentamiento solar, pasivos o activos, se obtendrían condiciones térmicas confortables y un consumo de energía mínimo para climatizar espacios.

Por otra parte, en el ámbito de las políticas públicas el gobierno mexicano ha identificado la necesidad de controlar y reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en especial en los sectores donde es posible lograr co-beneficios ambientales, económicos y de competitividad, así como impulsar capacidades de respuesta ante los impactos previsibles del cambio climático.

Los resultados obtenidos de las estimaciones del consumo de energía señalan un efecto negativo, ya que el consumo de energía en México muestra un fuerte incremento. Por otra parte, las fuentes de abastecimiento de la generación de energía se basan en combustibles de origen fósil, sobre todo de gas natural, combustóleo, gasolina y diesel, lo cual significa que de no modificarse las fuentes de abastecimiento, el mayor consumo de energía hacia el futuro implicará un aumento en la demanda de estos combustibles.

Por otra parte, el análisis de los resultados obtenidos mediante el trabajo experimental, en el cual se monitoreo el comportamiento térmico del modelo del sistema de calefacción hidrónico solar de piso radiante y la obtención de información mediante la simulación del comportamiento térmico al interior de un espacio, permitió llegar a diversas consideraciones.

En primer lugar, las temperaturas interiores de la simulación térmica del módulo y las temperaturas del módulo real sin aporte de energía del piso radiante son similares, con una diferencia mínima de 1 °C a 2 °C máximo en algunas horas de la noche. En la mayoría de las horas las temperaturas coinciden, esto da un parámetro de la exactitud de la simulación térmica que se realizó al módulo, y permite establecerla como un punto de comparación veras, lo cual indica que la simulación térmica es una herramienta eficiente para conocer las condiciones

térmicas de un espacio en un momento determinado. En este caso sirvió para evaluar el sistema de piso radiante hidrónico solar.

En cuanto al primer periodo de pruebas realizado al módulo experimental habilitado con un sistema de piso radiante hidrónico solar del 19 de mayo al 7 de julio de 2010, durante un horario de 8:00 pm a 9:00 am, se encontró que la temperatura del espacio interior oscilaba en un rango de 18°C a 25 °C a la altura de los ocupantes, la cual es considerada una temperatura óptima para el confort, asimismo la temperatura de la superficie del piso no excedió los 30 °C en la mayoría de los casos.

De esta forma, el dispositivo de calefacción hidrónica solar funcionó de manera eficiente, ya que logró aumentar la temperatura interior llevándola hasta los rangos de confort sin superar el límite máximo de 30 °C en la superficie del piso, lo cual representa condiciones óptimas para el confort. Es pertinente señalar que el primer periodo de pruebas fue realizado en la época del año con menor requerimiento de calentamiento y el de mayor radiación solar, según datos del observatorio de Tacubaya. Siendo estas las condiciones más propicias para el sistema de calefacción solar, por lo cual a partir de dichas evaluaciones se realizó un segundo periodo de pruebas en la época invernal.

En el segundo periodo de evaluación del dispositivo de calefacción comprendido del 11 de diciembre de 2010 al 6 de enero de 2011 y del 27 de enero al 14 de febrero de 2011 se realizaron dos diferentes pruebas.

La primera realizada en un horario nocturno permitió apreciar que el piso radiante genera un buen aporte de energía para elevar la temperatura interior del módulo, ya que la transferencia de calor del piso radiante osciló en un rango de 200 Wh a 350 Wh, de esta forma la temperatura interior del módulo experimental llegó a un rango de 19 °C a 24 °C de 8:00 pm a 2:00 am en la mayoría de los casos. Sin embargo, esta temperatura comenzó a descender hasta llegar a los 15 °C lo cual representa un déficit de energía que no puede ser compensado por el sistema de calefacción. De esta forma, el dispositivo de calefacción solo logró llevar la temperatura interior hasta el rango de confort durante la mitad del periodo de funcionamiento, lo cual indica que el rendimiento del piso radiante no fue óptimo en el mantenimiento de la temperatura interior por arriba de los 20

°C. Sin embargo, a pesar de que no se mantuvo una temperatura de confort, se logró elevar de manera considerable la temperatura al interior del módulo.

En síntesis en la primera evaluación se observa que el piso radiante fue eficiente en la compensación de las pérdidas de calor hacia el ambiente exterior logrando elevar la temperatura al interior del módulo, esto únicamente durante la primera mitad del periodo de funcionamiento. La segunda mitad del periodo mantiene una temperatura de entre 15 °C y 20 °C, lo que representa un excelente aporte de energía y una temperatura interior considerable en comparación con la temperatura ambiente. En contraste comparando el rango de temperatura (15 °C a 20 °C) obtenida al interior del módulo con el aporte de piso radiante contra la temperatura al interior del módulo sin el aporte del piso radiante (5 °C a 9 °C), se muestra que en la mayoría de los casos al poner en funcionamiento el piso radiante se logra aumentar la temperatura hasta 10°C al interior del módulo, generando un excelente aporte de calor.

En la última evaluación realizada al módulo experimental se puso en marcha el sistema de calefacción solar durante el día y la noche, es decir las 24 horas, se encontró que el desempeño del piso radiante hidrónico solar disminuyó su rendimiento en cuanto a transferencia de calor, principalmente en la noche, ya que las pérdidas durante el día y la noche resultaron ser mayores a la energía almacenada en el termo tanque. Cabe mencionar que en el cálculo del sistema de calefacción se consideraron las pérdidas diarias de energía incluyendo las diurnas y nocturnas, sin embargo las temperaturas registradas en las mediciones fueron más bajas que las consideradas en el cálculo, lo cual supone reajustar el dimensionamiento del sistema de calefacción y considerar situaciones más críticas en cuanto a temperaturas bajas con la finalidad de mejorar el desempeño del piso radiante.

En cuanto a la radiación solar se encontró que su disminución incide en el colector solar afectando el desempeño del sistema de calefacción, esto se debe a que en algunos casos se presentaron días con nubosidad. Sin embargo, el aporte de calor del piso radiante sigue siendo considerable ya que la temperatura interior alcanza la zona de confort entre las 8:00 pm y las 12:00 am, a partir de esta hora la temperatura interior desciende hasta los 17 °C en la mayoría de los casos con días nublados, comparando la temperatura interior en este punto contra la

temperatura exterior y la temperatura interior del módulo sin el aporte del piso radiante se observa que hay una diferencia de hasta 10 °C cuando el sistema de piso radiante está en funcionamiento.

Durante el día la temperatura interior del módulo con el aporte de calor del piso radiante se mantuvo por arriba de los 18 °C y en algunos casos se superaron los 25 °C (límite superior del rango de confort), esto supone un excedente de energía que afecta el confort térmico, lo cual se puede corregir ajustando el caudal del piso radiante o suspendiendo el flujo de agua al excederse los 25 °C.

En base a estos resultados obtenidos, se observa que el desempeño del piso radiante hidrónico solar disminuyó su rendimiento en cuanto a transferencia de calor, ya que las pérdidas durante el día y la noche resultaron ser mayores a la energía almacenada en el termo tanque. Sin embargo, el aporte de calor del piso radiante sigue siendo bastante considerable ya que la temperatura interior alcanza la zona de confort entre las 8:00 pm y las 12:00 am, a partir de esta hora la temperatura interior desciende hasta los 17 °C en la mayoría de los casos, lo cual a pesar de representar un déficit de energía el sistema de piso radiante sigue mejorando las condiciones térmicas al interior de módulo de manera considerable en comparación con la temperatura exterior y la temperatura del módulo sin aporte de energía del piso radiante. Es importante señalar que no se utilizó ninguna fuente auxiliar de energía que coadyuvara el aumento de la temperatura.

En síntesis, a través del análisis de los resultados obtenidos mediante el trabajo experimental, donde se implementó un sistema de piso radiante hidrónico solar, se demostró que en un clima templado semi frío como el de la ciudad México con requerimientos de calentamiento todo el año, el piso radiante logró reducir significativamente el consumo de energía ayudando a optimizar el confort térmico dentro de un espacio de forma eficiente.

En cuanto al colector solar, éste logró adaptarse exitosamente al piso radiante, ya que la energía acumulada en el piso durante las horas de mayor radiación logró transmitirse al ambiente interior aun cuando la temperatura exterior era más baja y por ende la necesidad de calefacción mayor.

A lo largo de la investigación se mostraron muchas formas en las cuales se puede aprovechar la energía solar. Sin embargo, aún existen diversos aspectos que limitan su aplicación, a pesar de ello sería poco racional no intentar aprovecharla por todos los medios técnicamente posibles, ya que es una fuente gratuita, limpia e inagotable que reduciría la dependencia hacia los combustibles fósiles o de otras alternativas poco seguras, contaminantes o simplemente agotables.

El uso masivo que hoy hacemos de las energías convencionales ha provocado una drástica disminución de sus reservas en tan sólo un siglo. En consecuencia, de mantenerse el modelo de consumo actual, los combustibles tradicionales dejarán de estar disponibles a mediano plazo, bien por el agotamiento de las reservas, o porque su extracción habrá dejado de ser rentable. Por ello resulta sumamente importante desarrollar nuevas tecnologías basadas en el aprovechamiento de los recursos renovables. En este sentido la energía solar tiene la ventaja de ser limpia e inagotable, por lo cual no corre el riesgo de agotarse a mediano plazo. .

De esta forma, la energía solar es una excelente alternativa para hacer frente a las necesidades de abasto de energía de los países del mundo debido a que es inagotable y ecológicamente sana. Sin embargo, se requiere de avances en la investigación sobre tecnología que permita tanto complementar eficientemente a los sistemas de energía existentes como abaratar los costos en sus usos.

CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Soto, P. G. (2006). *Sistema termo solar para agua*. ANES. Recuperado el 5 de noviembre de 2009 de http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&Itemid=76

Ali A. Badran M. A. *Comparative study for under-floor heating using solar collectors or solar ponds*. Applied Energy. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, U. of Jordan, Jordan. Recuperado el 11 de diciembre de 2009 de www.sciencedirect.com

Alija, E. F. (s.f.). *Energías Alternativas*. Recuperado el 8 de diciembre de 2009, de <http://www.educa.madrid.org/web/ies.victoriakent.torrejondeardo/Departamentos/DFyQ/energia/e-3/energias.htm>

Athienitis A. K, Chen Y.(2000) *The effect of solar radiation on dynamic thermal performance of floor heating systems*, Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University, Quebec, Canada. Recuperado el 9 de diciembre de 2009 de www.elsevier.com/locate

Causa, J. d. (1989). *Energía Solar para Viviendas*. Barcelona España: Editorial CEAC.

Cedillo Martínez Jaqueline (2010) *Seminario de normas aplicables para el calentamiento solar de agua en la Ciudad de México*. Secretaría del Medio Ambiente – GDF

CONAFOVI. (2006). *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*. México, D.F. Recuperado el 19 de enero de 2010 de http://www.conavi.gob.mx/documentos/publicaciones/guia_energia.pdf

Dirección General de Escuelas de Mendoza Argentina (2009) *Coletores de energía*. Recuperado el 8 de enero de 2010 de <http://www.tecnologia.mendoza.edu.ar/energia/renovables/colectores.htm>

EnergiaSolar.mx. (2009) *Ventajas y desventajas de la energía solar*. Recuperado el 18 de enero de 2010 de <http://www.energiasolar.mx/ventajas/ventajas-y-desventajas-energia-solar.html>

Erenovables (2009) *Energías Renovables*. Recuperado el 18 de enero de 2010 de <http://erenovable.com/2009/04/13/qu-es-la-energa-solar-trmica>

Flutchaire, L. M. (2006). *Transmitancia de la radiación ultravioleta en diferentes medios para su aplicación en proyectos de energía solar*. México: UNAM.

Freixanet, V. A. (2004). *Clima y Arquitectura*. México D.F. Universidad Autónoma Metropolitana

Freixanet, V. A. (s.f.). *Estudios de Arquitectura Bioclimática vol. 5*. México D.F. UAM.

García Chávez, J. R. (1995). *Viento y arquitectura*, México, Trillas

García Chávez, J. R. (2000). *Arquitectura y medio ambiente en la ciudad de México*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Givoni, Baruch. Man. (1981) *Climate and architecture. Buiding Research Station Technion*, Israel Institute of Technology

Hinojosa. F. C. (2008). *Programa nacional de vivienda 2007-2012: hacia un desarrollo habitacional sustentable*. México, D.F. Conavi. Recuperado el 5 de enero de 2010 de <http://www.coparmex.org.mx/upload/comisiones>

Ma Quiston, P. (2008). *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. México, D.F. LIMUSA.

Maas, J. Astier. (2007). *Hacia un programa nacional de manejo sustentable de ecosistemas en México. Sustentabilidad y desarrollo ambiental*. México: Porrúa. (Vol. 14). pp. 89 – 99.

Magaña, V. (2004). El cambio climático global: Comprender el problema. El *Cambio climático: Una visión desde México*. México: SEMARNAT. pp. 17 – 28.

Mazria, E. (1983). *El libro de la Energía Solar*. México: EDICIONES G. GILI S.A.

Morillón G. D. (2002). *Sistemas pasivos de climatización*. Universidad de Guadalajara. Recuperado el 20 de enero de 2010 de http://www.riraas.net/documentacion/CD_03/.pdf

Ochoa de la Torre J. M. (2009) *Índices de confort térmicos en la planeación de sitios turísticos*. Centro de Estudios de América del Norte, El Colegio de Sonora. pp 1-5. Recuperado el 5 de enero de 2010 de <http://topofilia.net/coloquio09ochoa-marincic-urcelay.html>

Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona. Ed. Gustavo Gili.

Ortega Rodríguez Antonio, Ortega Rodríguez Mario (2000) *Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes*, ediciones paraninfo, s.a., 2000

Rincón Mejía E. A. (2009) *Las Fuentes Renovables de Energía Como Base Del Desarrollo Sostenible en México*. Anes. Recuperado el 8 de diciembre de 2009 de <http://b-dig.iie.org.mx/BibDig/P04-0502/EduardoARinconMejia.PDF>

Rincón Mejía E. A. (s.f.). *Las Fuentes Renovables de Energía Como Base del Desarrollo Sostenible en México*. Anes. México. Campaña de Energía y Cambio Climático

Rivero, R. (1988) *Arquitectura y clima. Acondicionamiento natural para el hemisferio norte*. México D.F. Universidad Autónoma de México.

Rodríguez Panebianco D. (2009) *Energía solar*. Recuperado el 5 de febrero de 2010 de http://www.procobre.org/procobre/aplicaciones_del_cobre/energia_solar_detalle3.html

Sabady, P. R. (1986). *Practica de la energia solar*. Barcelona España: Ediciones ceac.

Saldívar, A.. (2008). *Algunas reflexiones sobre el desarrollo sustentable y su medición*. Quintero Soto. C. Fonseca Hernández (eds.), Desarrollo sustentable. México: Porrúa.

SENER (2007). *Balance Nacional de Energía, 2007*, SENER. Recuperado el 22 de enero de 2010 de <http://www.sener.gob.mx/>

SENER (2008). *Balance Nacional de Energía 2008*. SENER. Recuperado el 22 de enero de 2010 de http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/Balance_2008.pdf

SENER(s.f.) *Programa Sectorial de Energía 2007 – 2012*. México. Recuperado el 20 de enero de 2010 de [http://www.sener.gob.mx/res/0/Programa %20Se](http://www.sener.gob.mx/res/0/Programa%20Se)

SENER. (2004). *Balance Nacional de Energía*. México. Recuperado el 20 de enero de 2010 de http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/Balance%20Nacional%20de%20Energia%202006

Sol. Arq. (2003) *Calefacción solar pasiva*. Recuperado el 5 de febrero de 2010 de <http://sol-arq.com/index.php/calefaccion-solar>

Strand R. K., Baumgartner K.T. (2004) *Modeling radiant heating and cooling systems: integration with a whole-building simulation program*, School of Architecture, University of Illinois at Urbana-Champaign. Recuperado el 8 de diciembre de 2009 de www.sciencedirect.com

Villavicencio B. J. (2001) *Condiciones de vida y vivienda de interés social en la ciudad de México*. Colección: Las Ciencias Sociales. Segunda Década. Coeditor(es): México, D.F. Universidad Autónoma Metropolitana.

Vivienda (2008). *Programa Nacional de Vivienda 2007-2012: Hacia un desarrollo habitacional sustentable*. México, D.F. Conavi. Recuperado el 5 de febrero de 2010 de http://www.conavi.gob.mx/documentos/publicaciones/PROGRAMA_NACIONAL_DE_VIVIENDA_2007-2012_VERSION_EJECUTIVA.pdf

Weitzmann Peter (2004). *Modelling floor heating systems using a validated two-dimensional ground-coupled numerical model*. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. Recuperado el 8 de diciembre de 2009 de www.sciencedirect.com

Zamora, Antonio (2008) *Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables*. Secretaría del Medio Ambiente – GDF

Zhai X.Q, Yang J.R, Wang R.Z. (2001) *Design and performance of the solar-powered floor heating system in a green building*, Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, Recuperado el 9 de diciembre de 2009

CALEFACCIÓN HIDRÓNICA SOLAR

ANEXOS

ANEXOS

11.1 ANEXOS I

11.1.1 Análisis térmico del primer periodo de evaluación comprendido del 19 de mayo al 6 de julio del 2010

A continuación se muestra el análisis del primer periodo de evaluaciones realizadas al módulo experimental, este fue realizado en la etapa de mayor temperatura en la ciudad de México y correspondió del 19 de mayo del 2010 al 6 de julio del 2010, en este primer periodo se realizaron las pruebas con el piso radiante en funcionamiento solo en la noche ya que en el día no se necesitaba aporte de energía para mantener una temperatura interior de entre 20.5 °C a 25.5 °C que es la temperatura de confort para la ciudad de México.

19 de mayo 2010

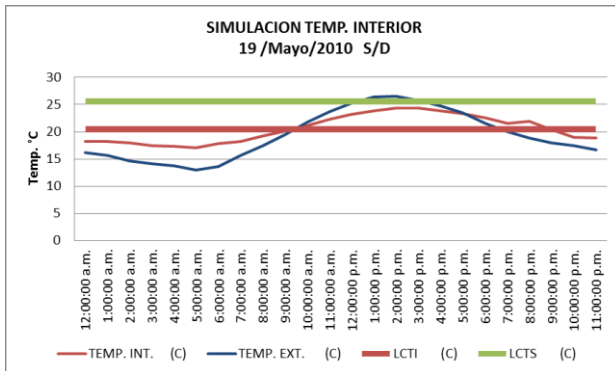


Fig. 1. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

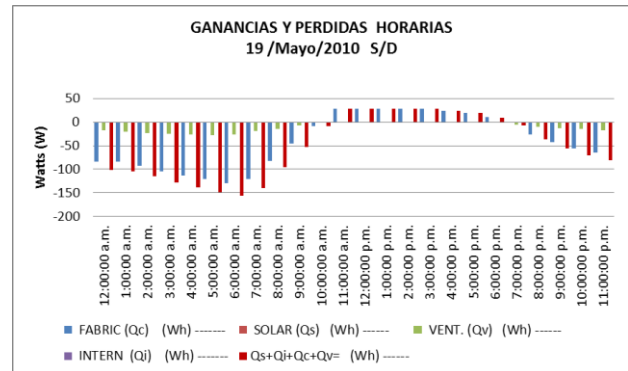


Fig. 2. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo sede al ambiente exterior

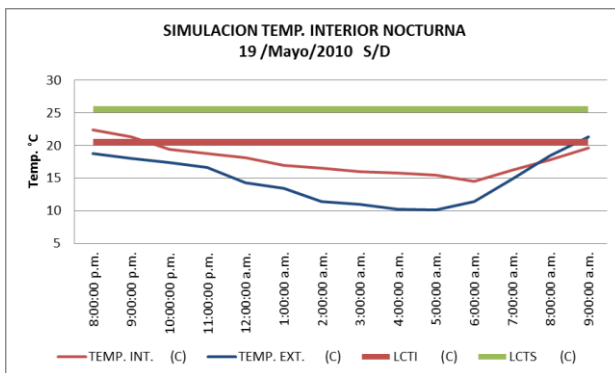


Fig. 3. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

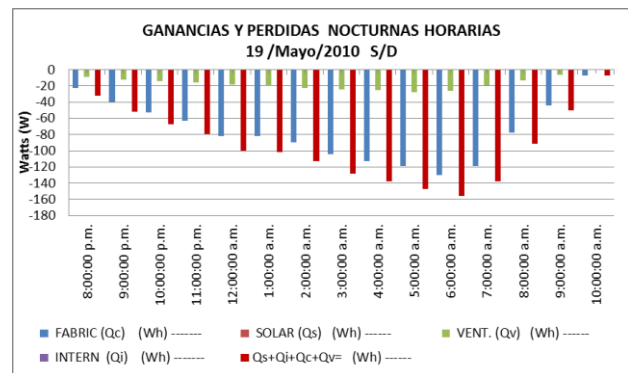


Fig. 4. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo

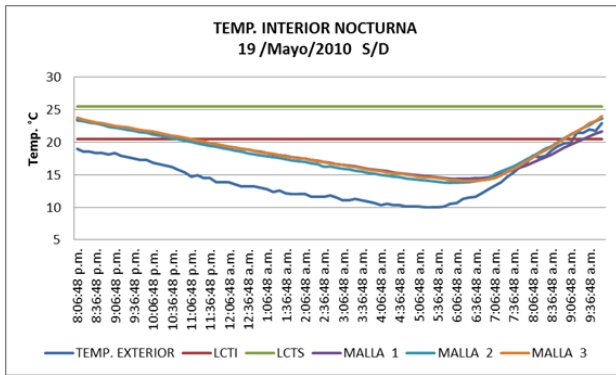


Fig. 5. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

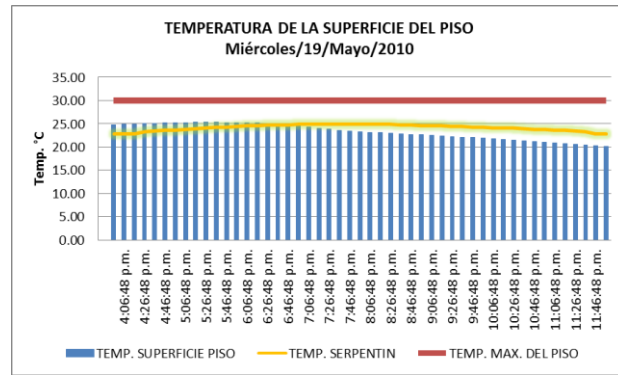


Fig. 6. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

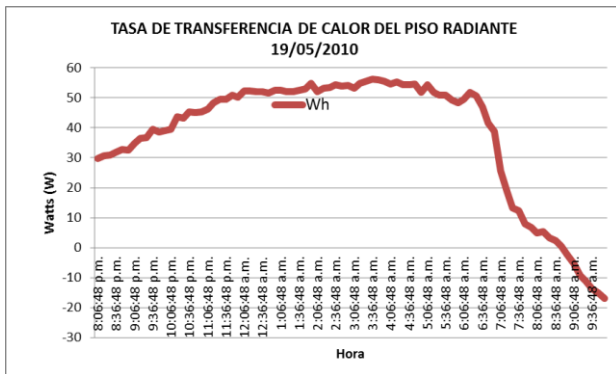


Fig. 7. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 19 mayo del 2010

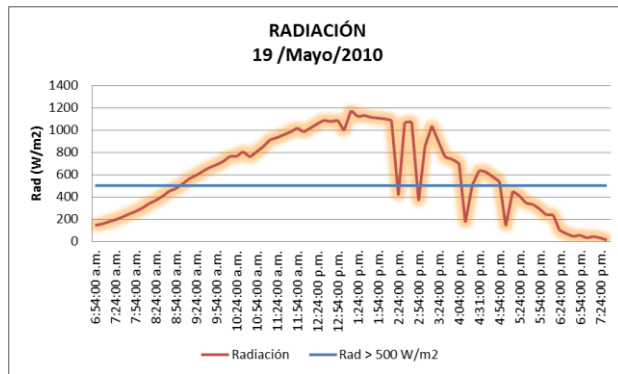


Fig. 8. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 19 mayo del 2010

20 de mayo 2010

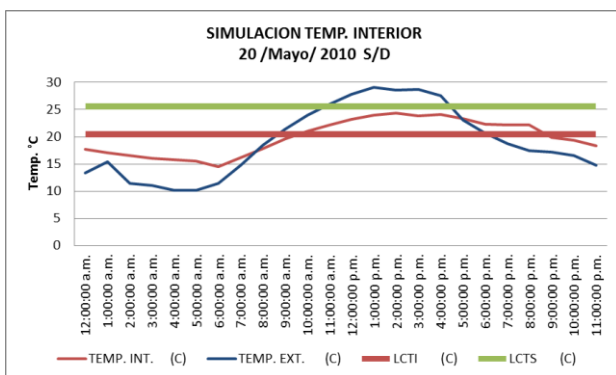


Fig. 9. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

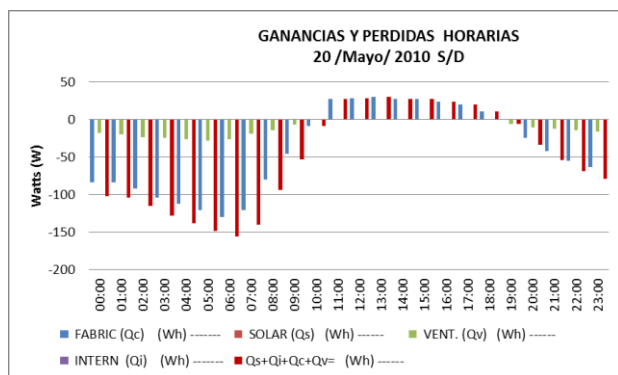


Fig. 10. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

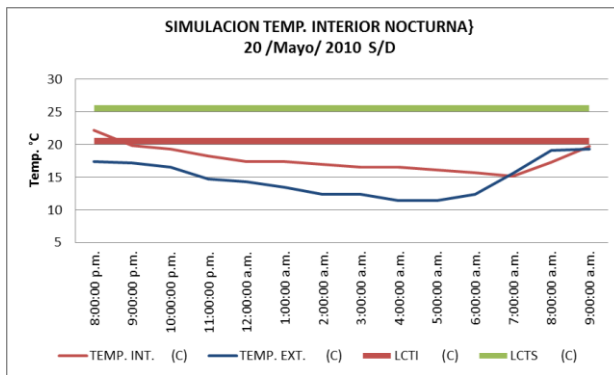


Fig. 11. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

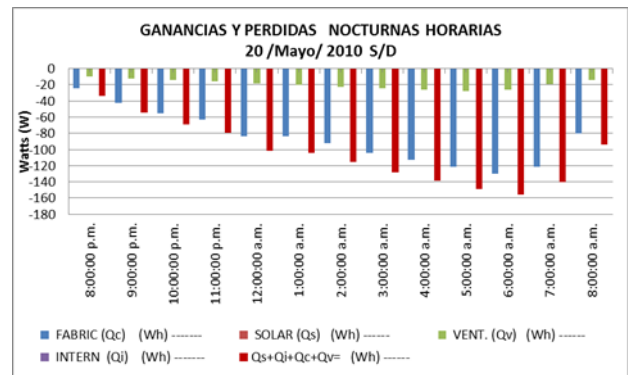


Fig. 12. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

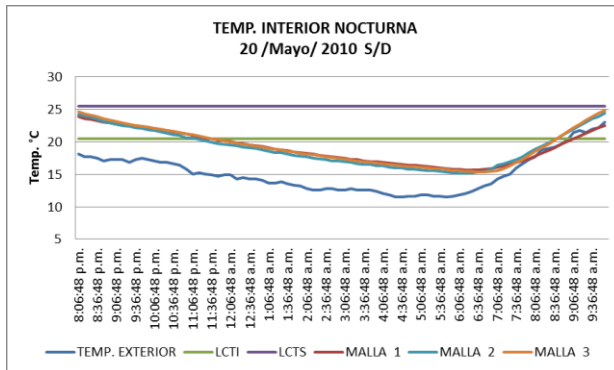


Fig. 13. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

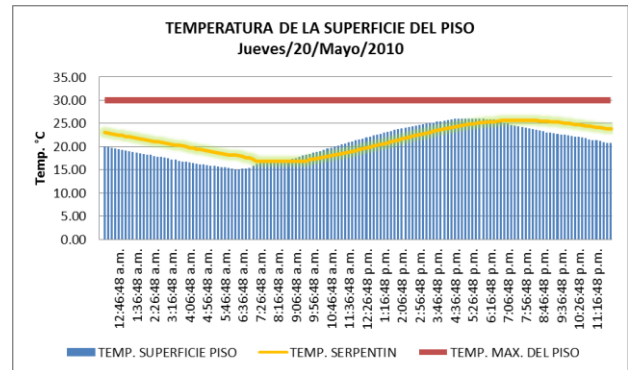


Fig. 14. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

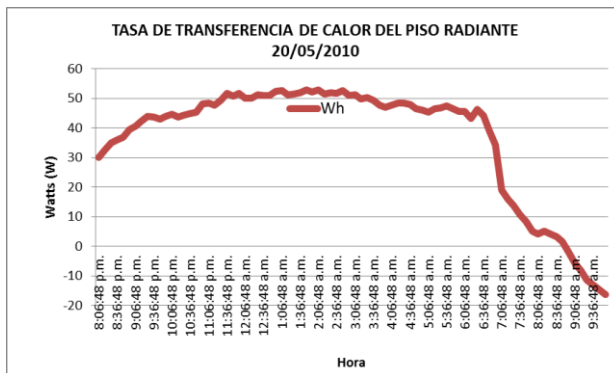


Fig. 15. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 20 mayo del 2010

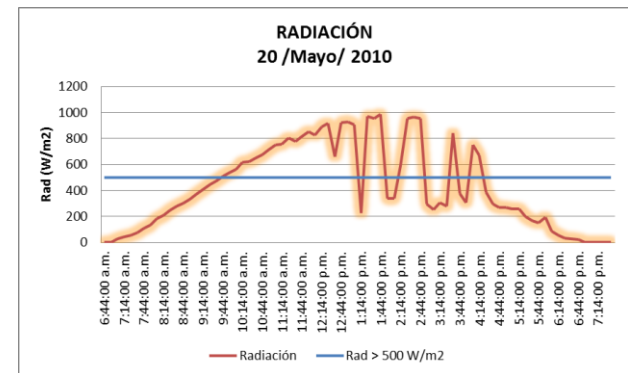


Fig. 16. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 20 mayo del 2010

21 de mayo 2010

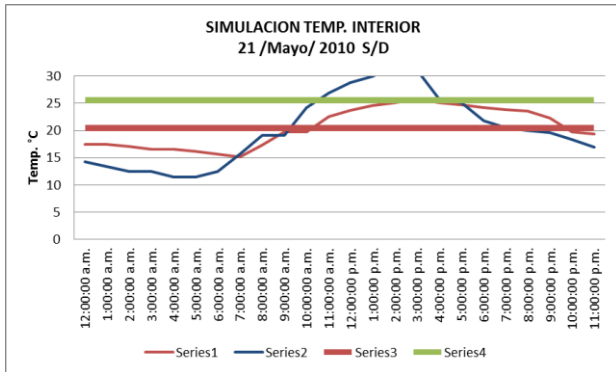


Fig. 17. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

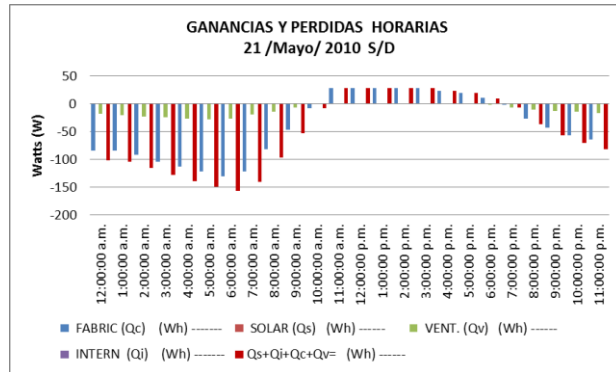


Fig. 18. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

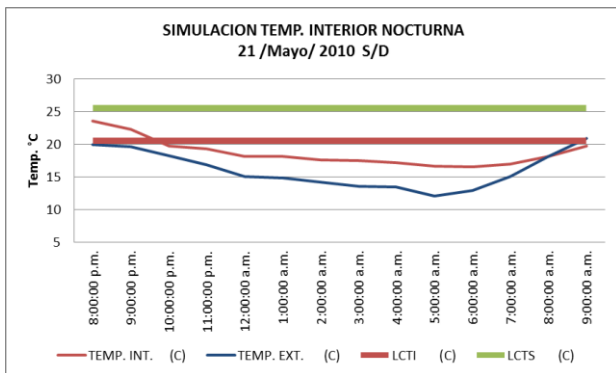


Fig. 19. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

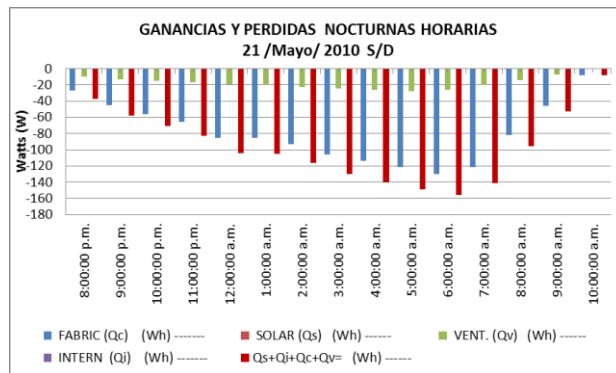


Fig. 20. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

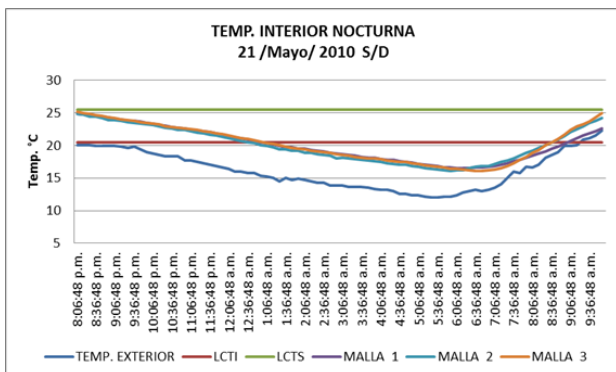


Fig. 21. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

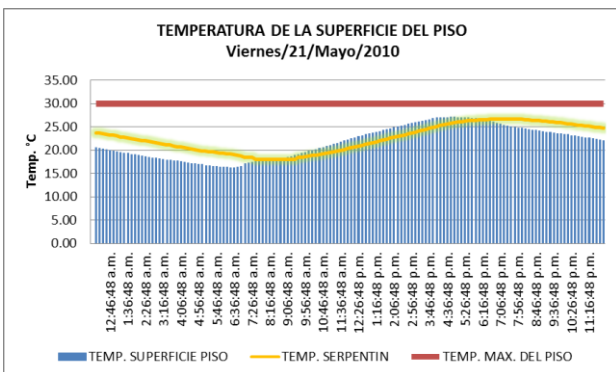


Fig. 22. Imagen que muestra la temperatura del agua interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

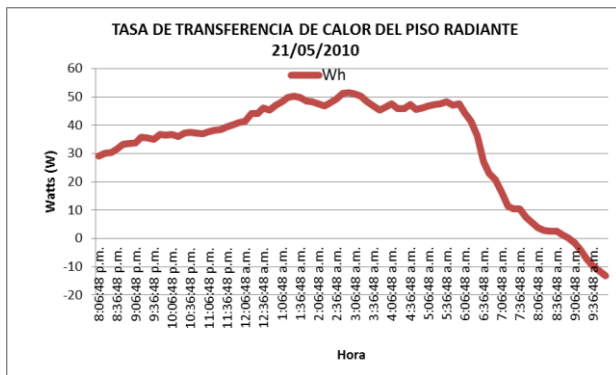


Fig. 23. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 21 mayo de 2010

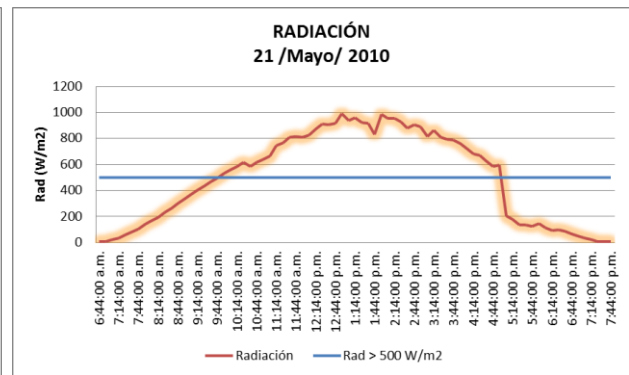


Fig. 24. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 21 mayo de 2010

22 de mayo 2010

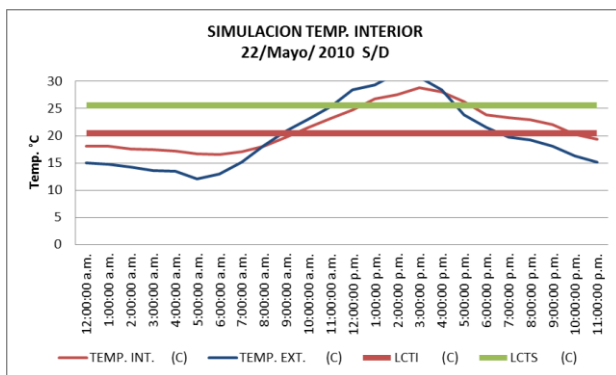


Fig. 25. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

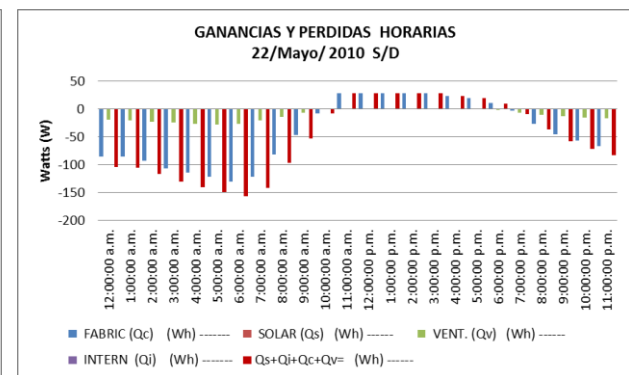


Fig. 26. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

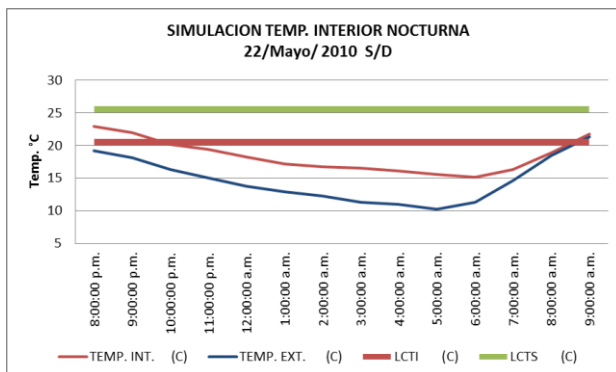


Fig. 27. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

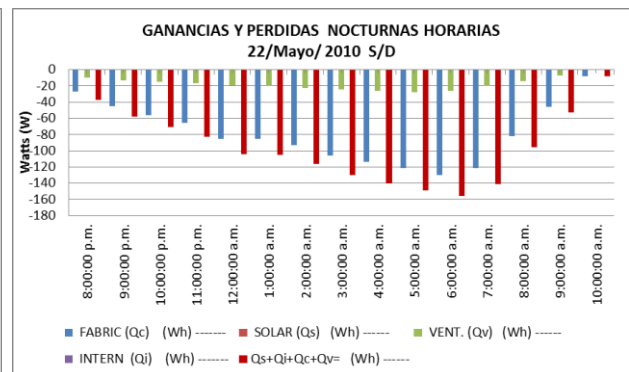


Fig. 28. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

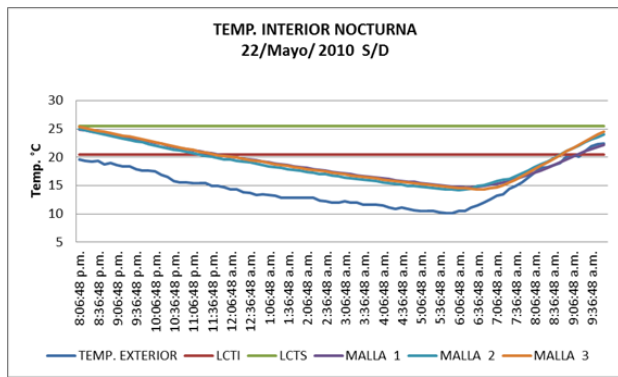


Fig. 29. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

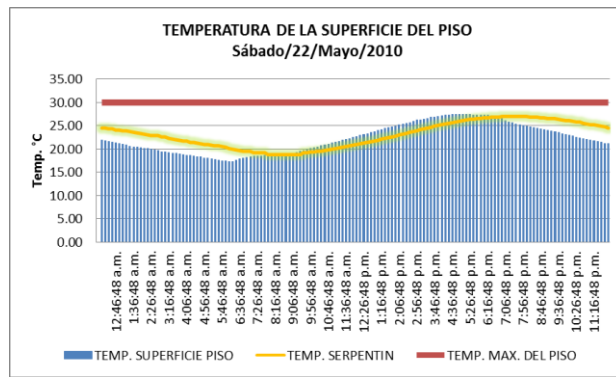


Fig. 30. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

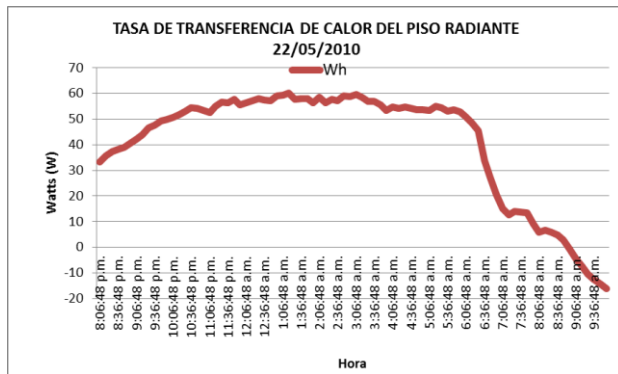


Fig. 31. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 22 de mayo del 2010

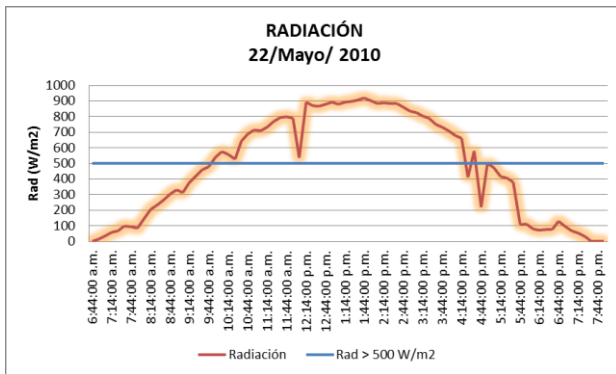


Fig. 32. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 22 mayo del 2010

23 de mayo 2010

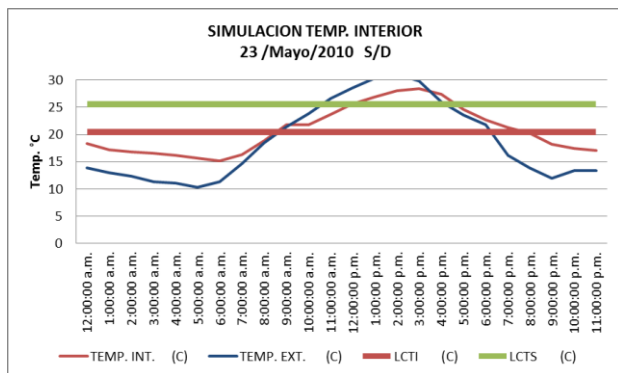


Fig. 33. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

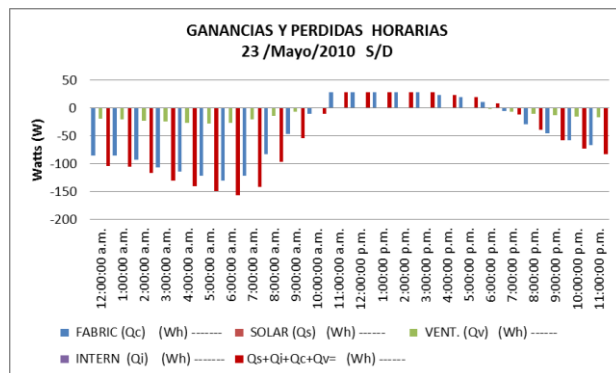


Fig. 34. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

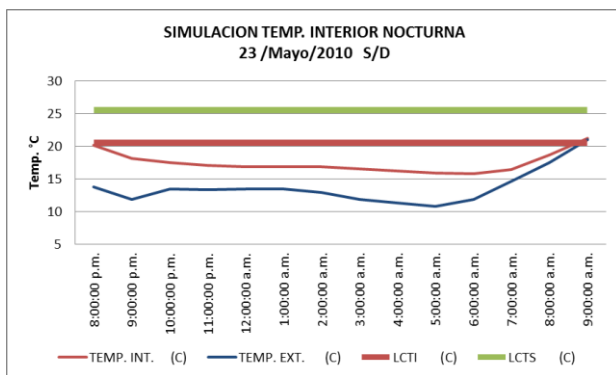


Fig. 35. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

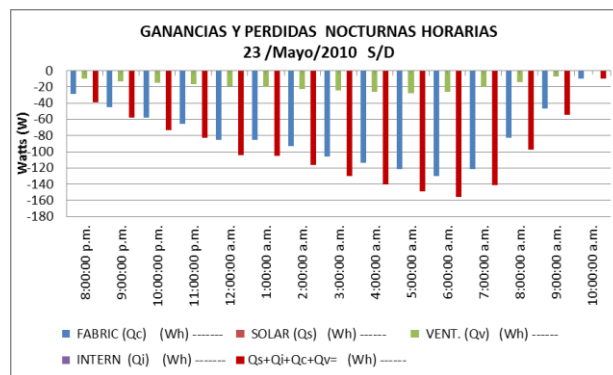


Fig. 36. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

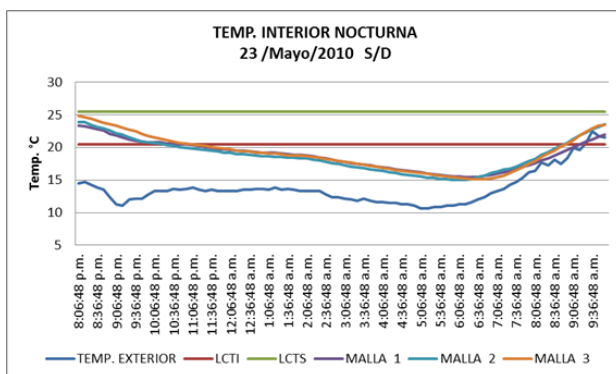


Fig. 37. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

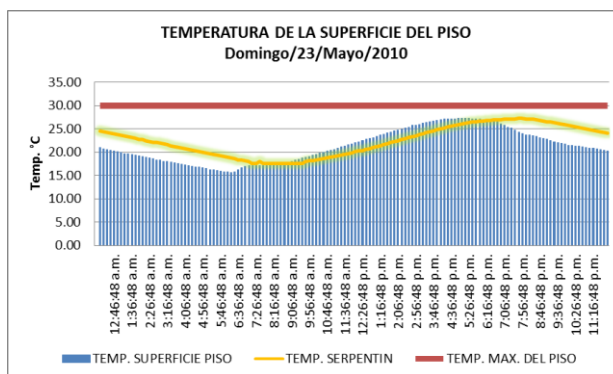


Fig. 38. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

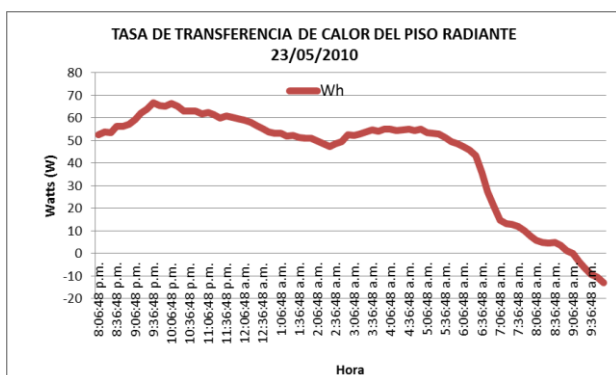


Fig. 39. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 23 de mayo del 2010

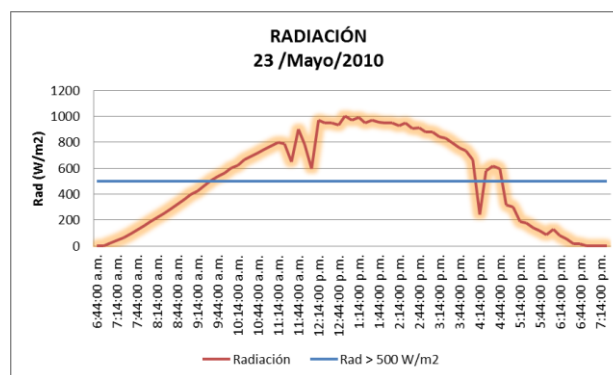


Fig. 40. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 23 mayo del 2010

24 de mayo 2010

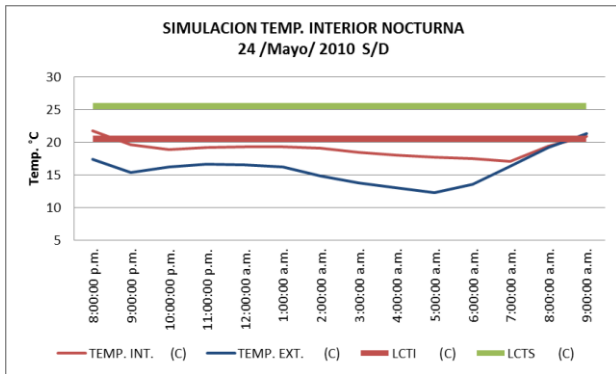


Fig. 41. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

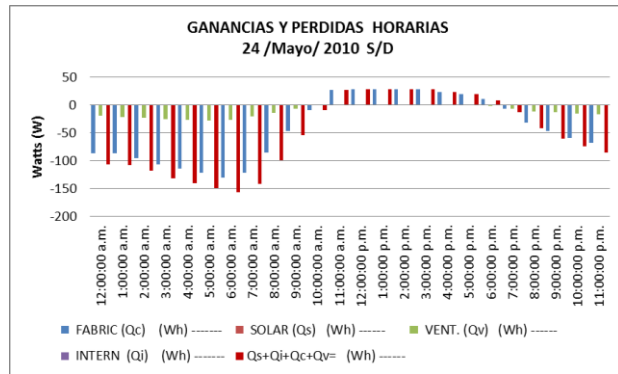


Fig. 42. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

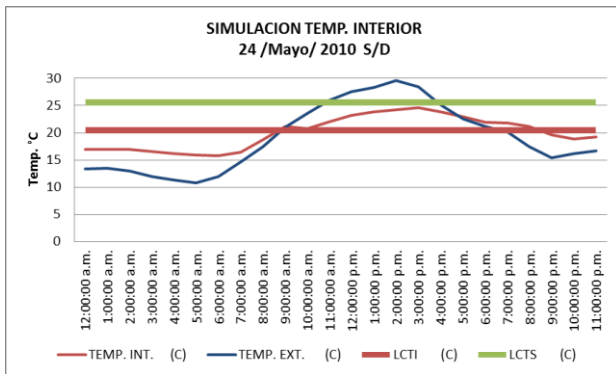


Fig. 43. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

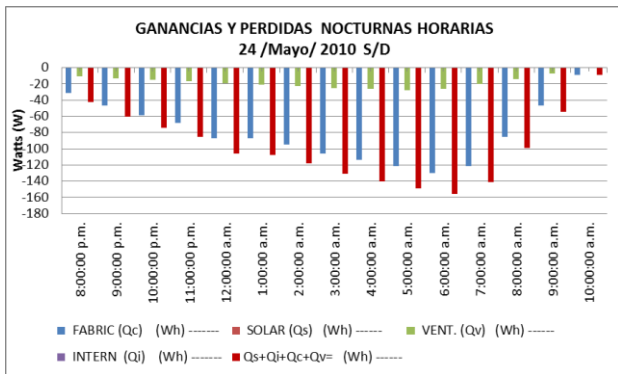


Fig. 44. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

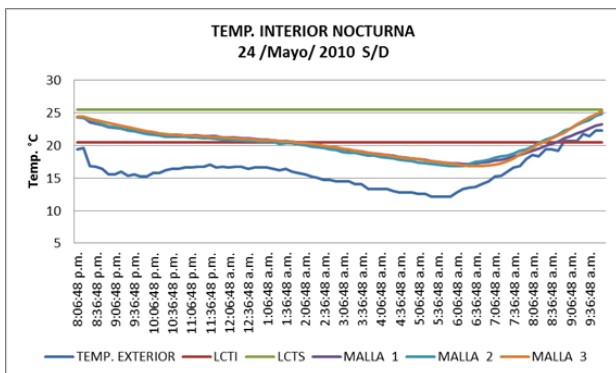


Fig. 45. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

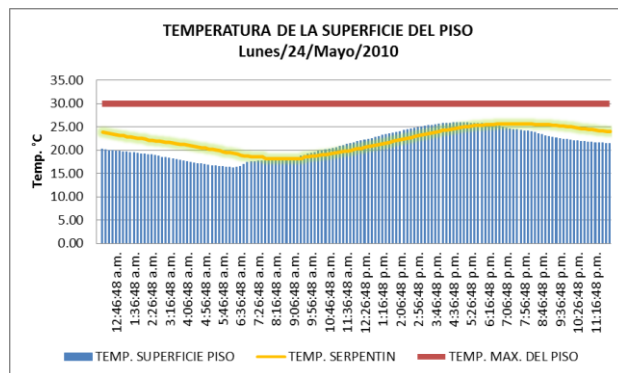


Fig. 46. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

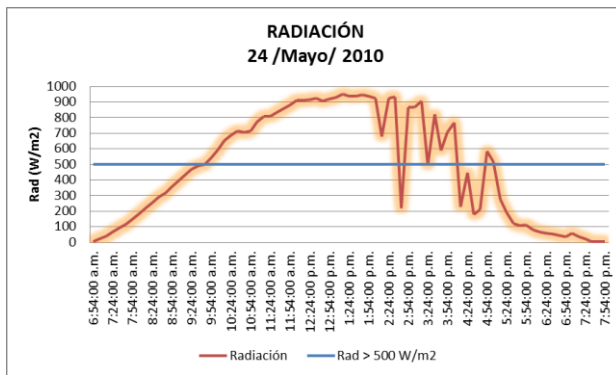


Fig. 47. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 24 de mayo del 2010

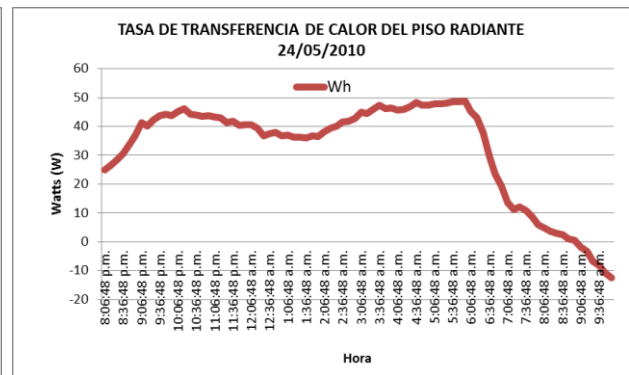


Fig. 48. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 24 mayo del 2010

25 de mayo 2010

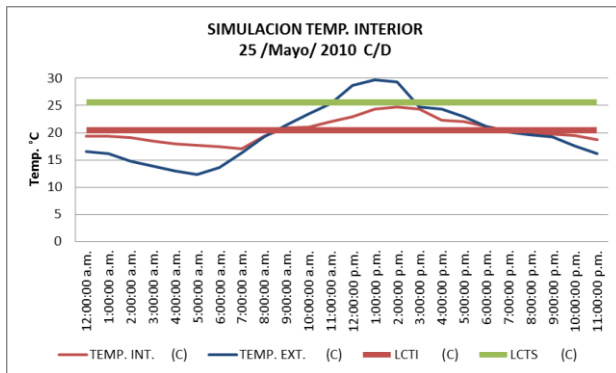


Fig. 49. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

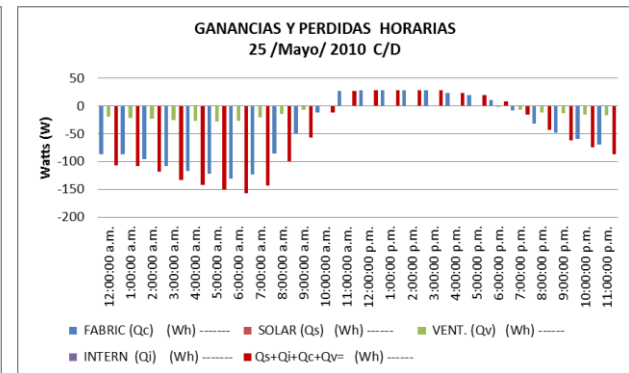


Fig. 50. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

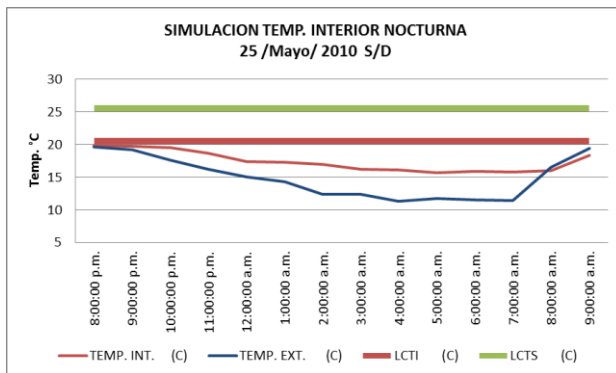


Fig. 51. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

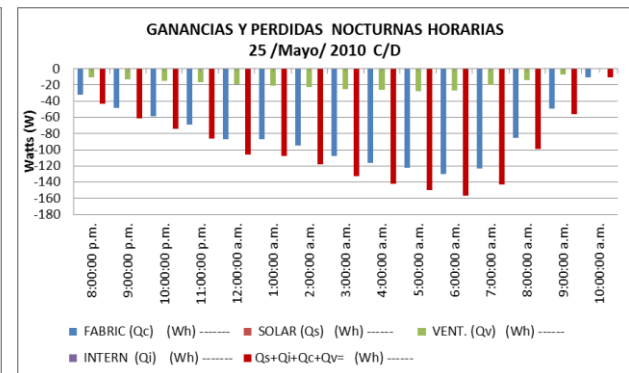


Fig. 52. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

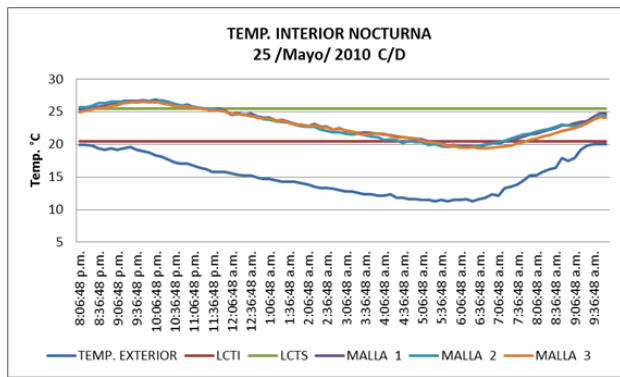


Fig. 53. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

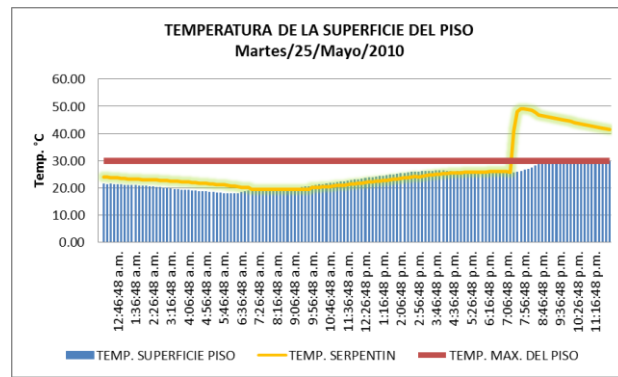


Fig. 54. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

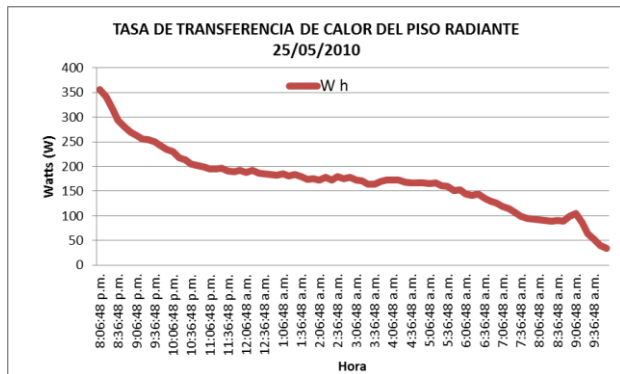


Fig. 55. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 25 de mayo del 2010

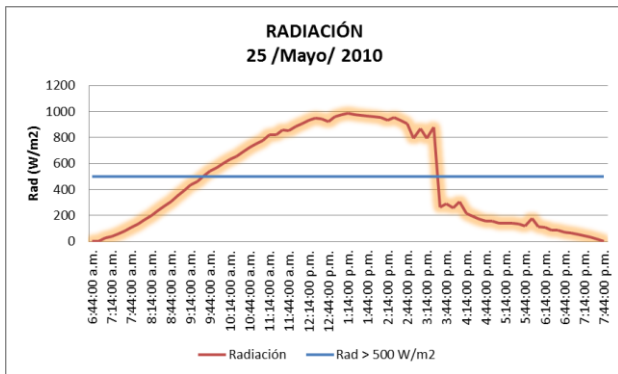


Fig. 56. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 25 mayo del 2010

26 de mayo 2010

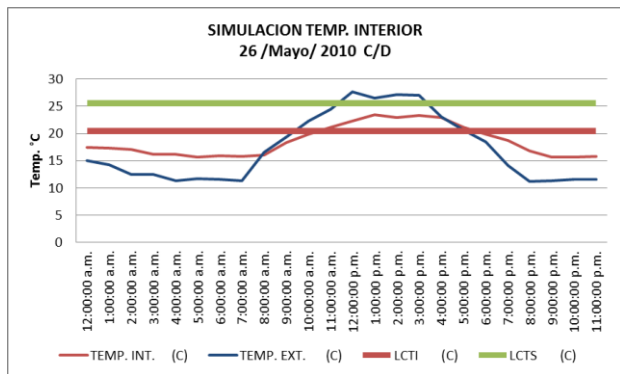


Fig. 57. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

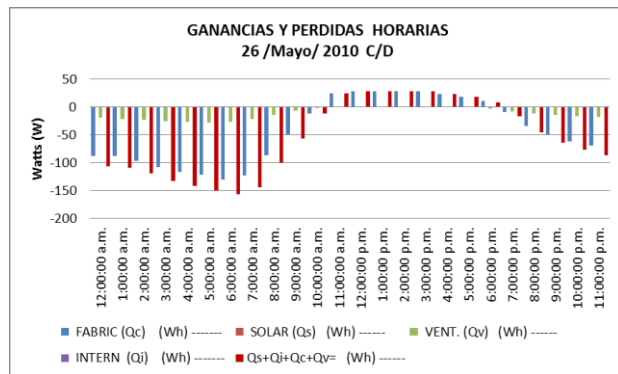


Fig. 58. Grafica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

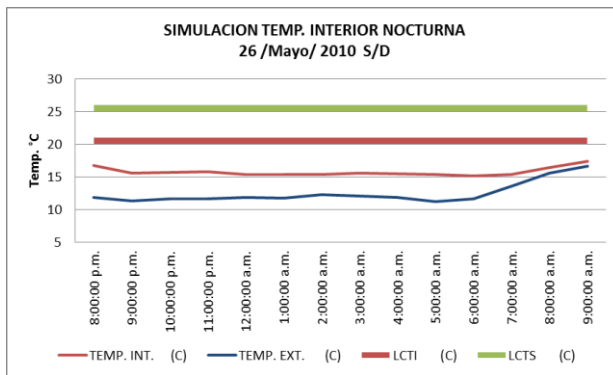


Fig. 59. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

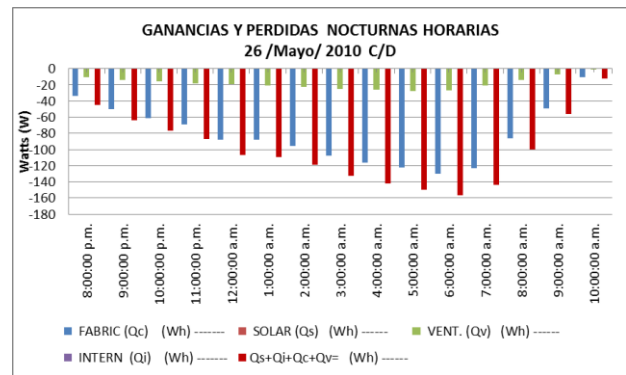


Fig. 60. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

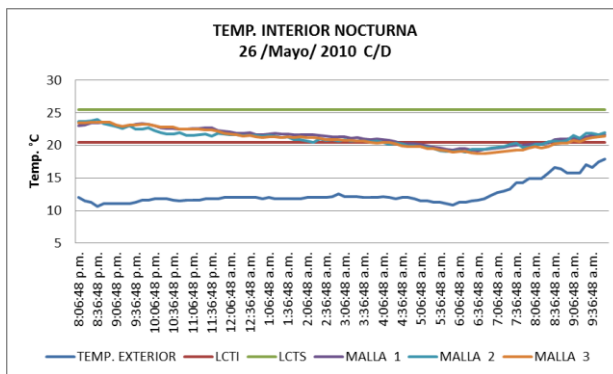


Fig. 61. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

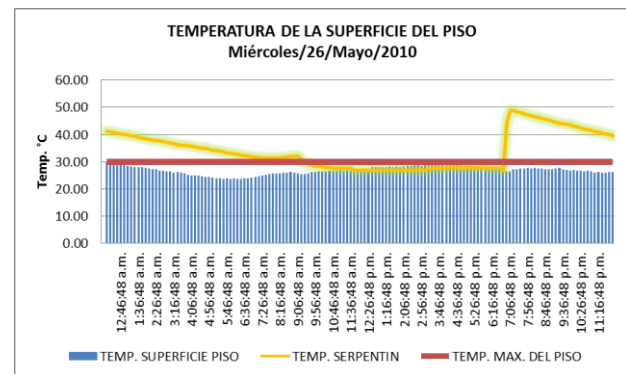


Fig. 62. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

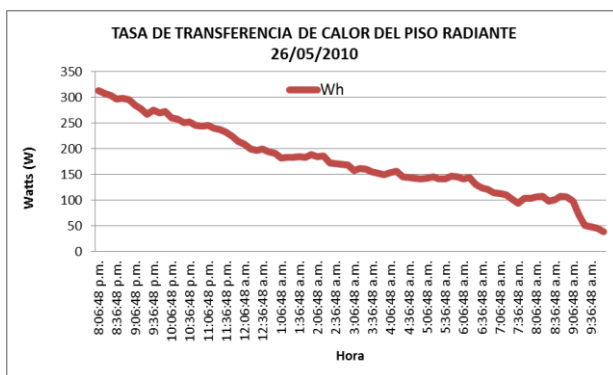


Fig. 63. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 26 de mayo del 2010

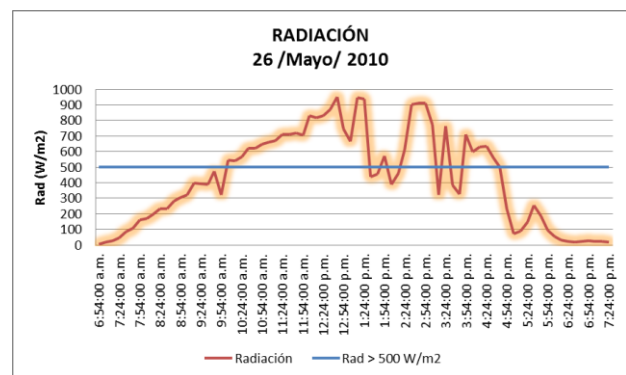


Fig. 64. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 26 mayo del 2010

27 de mayo 2010

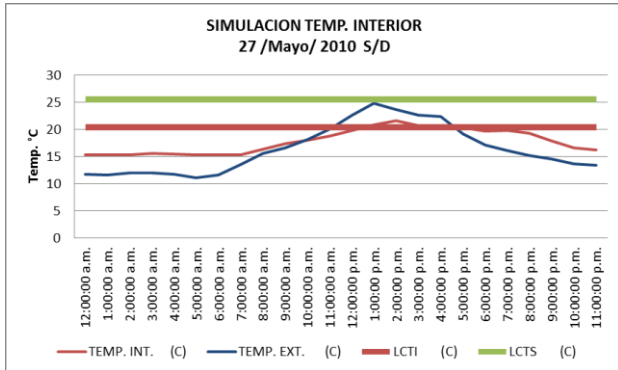


Fig. 65. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

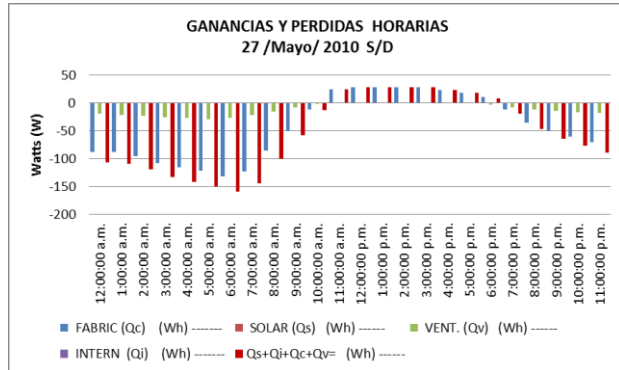


Fig. 66. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

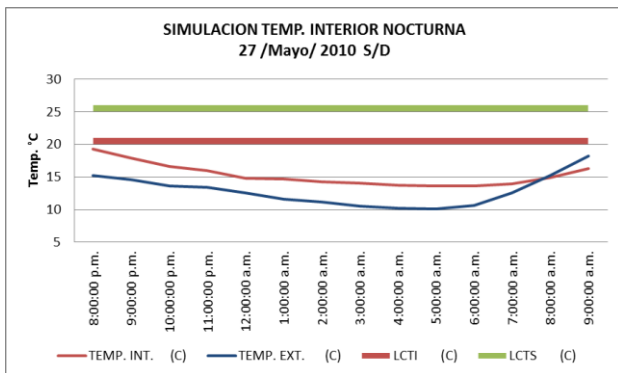


Fig. 67. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

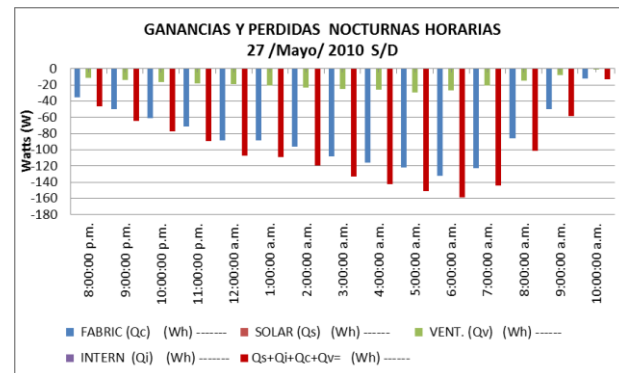


Fig. 68. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

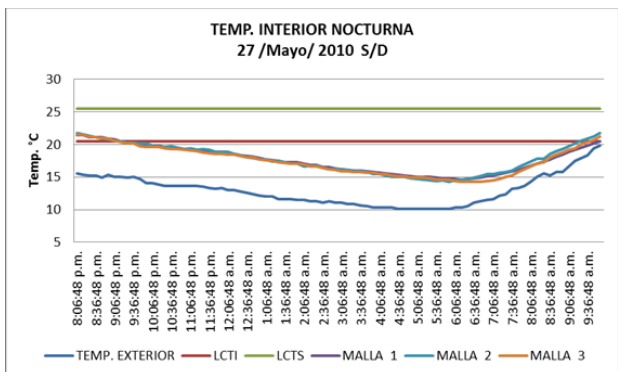


Fig. 69. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

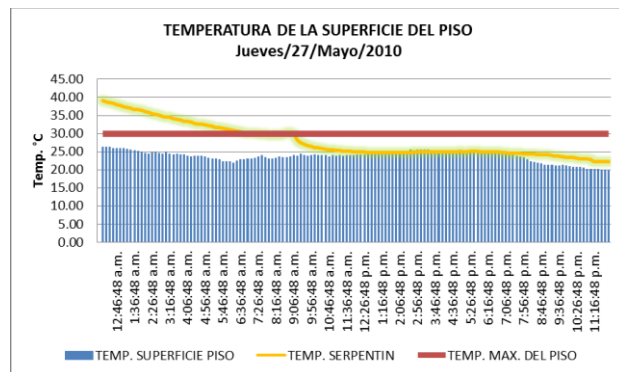


Fig. 70. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

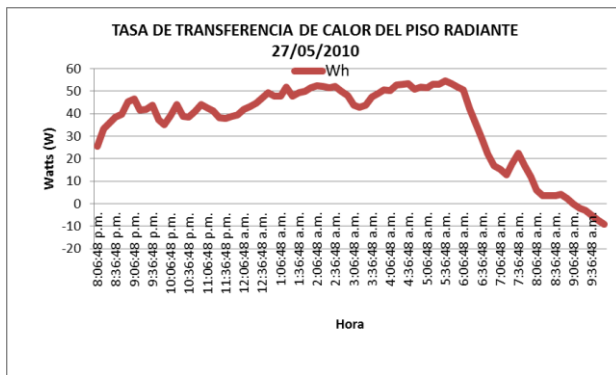


Fig. 71. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo

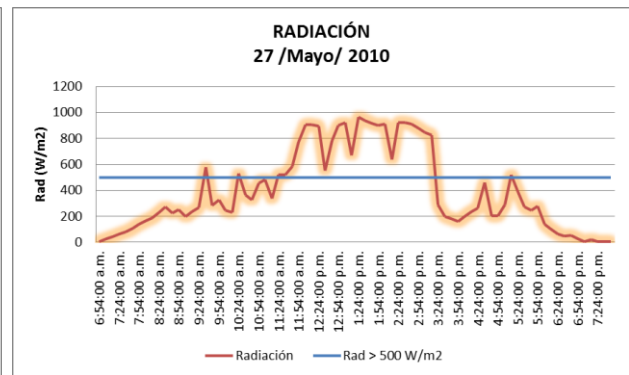


Fig. 72. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 27 mayo del 2010

28 de mayo 2010

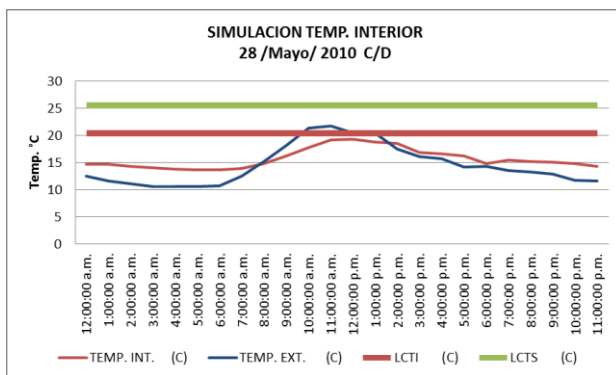


Fig. 73. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

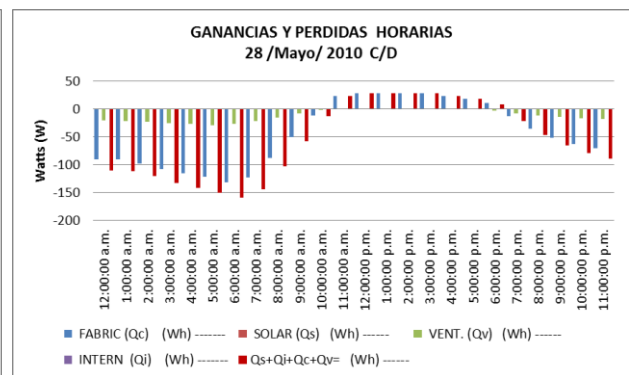


Fig. 74. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

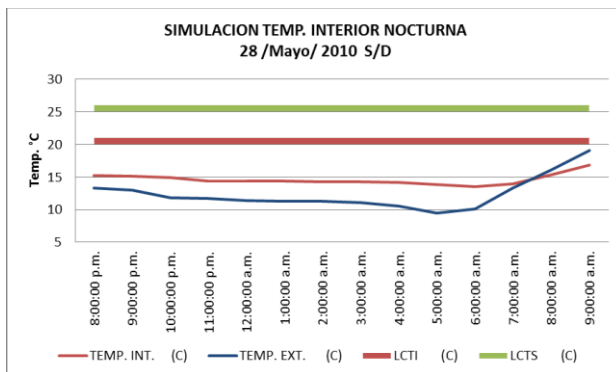


Fig. 75. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

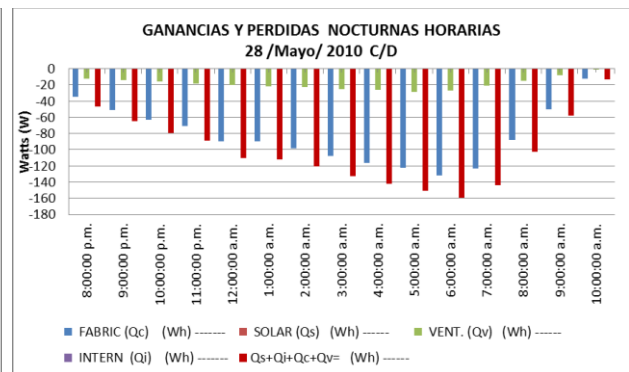


Fig. 76. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

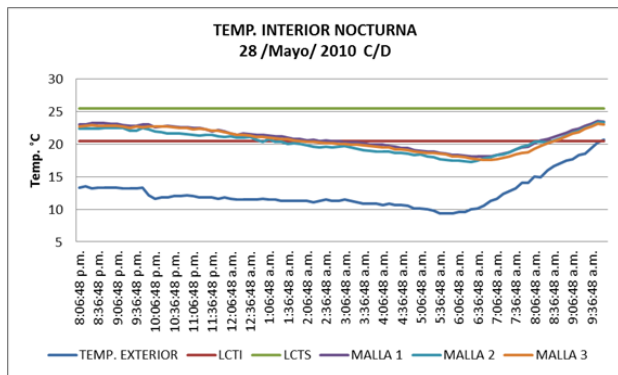


Fig. 77. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

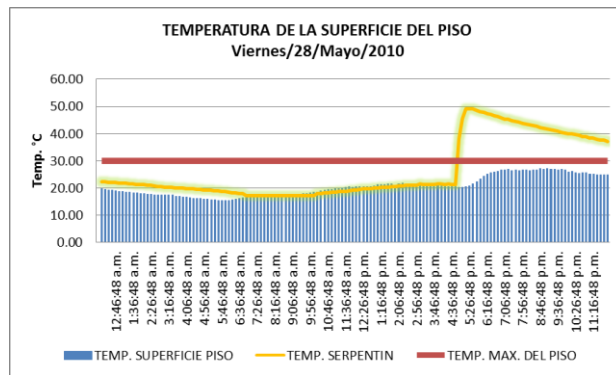


Fig. 78. Imagen que muestra la temperatura del agua interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

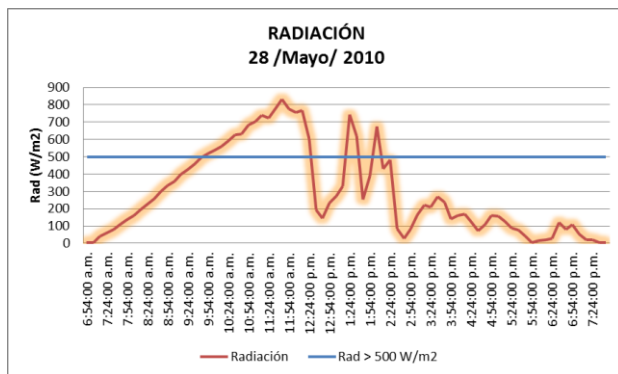


Fig. 79. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 28 de mayo del 2010

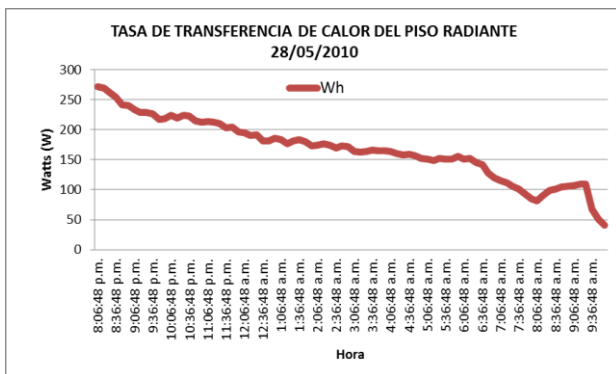


Fig. 80. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 28 mayo del 2010

29 de mayo 2010

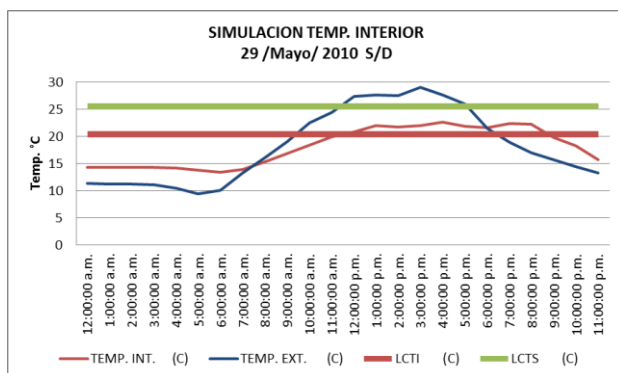


Fig. 81. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

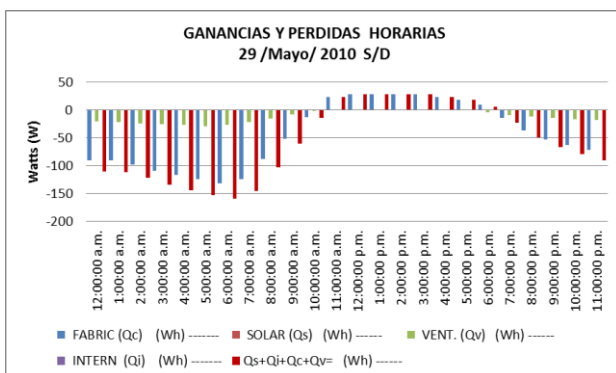


Fig. 82. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

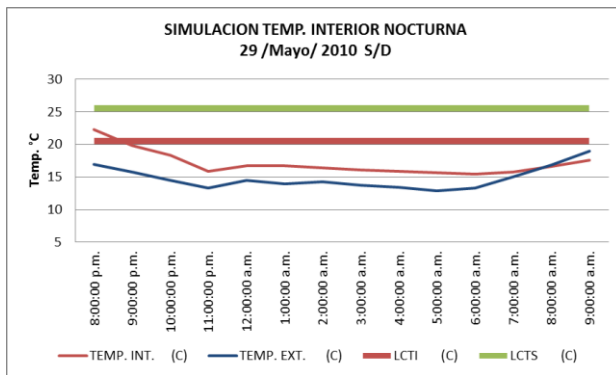


Fig. 83. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

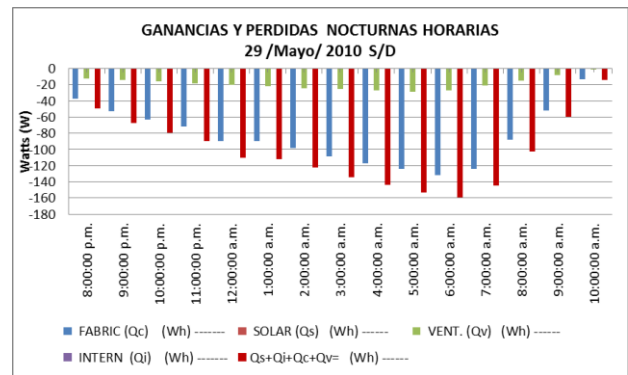


Fig. 84. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo sede al ambiente exterior

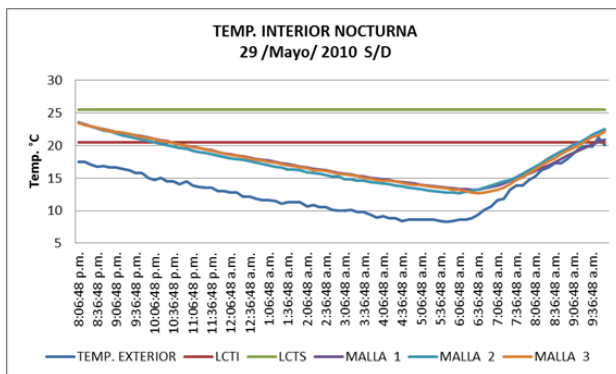


Fig. 85. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

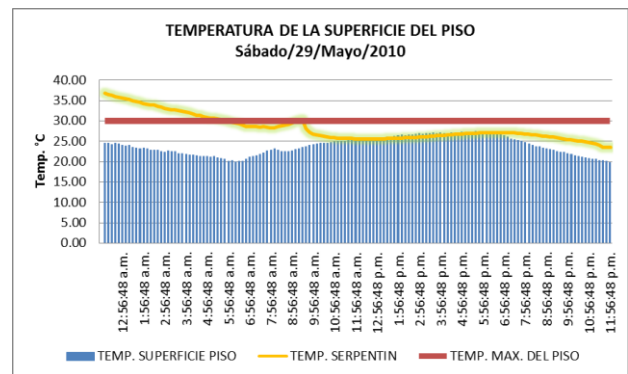


Fig. 86. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

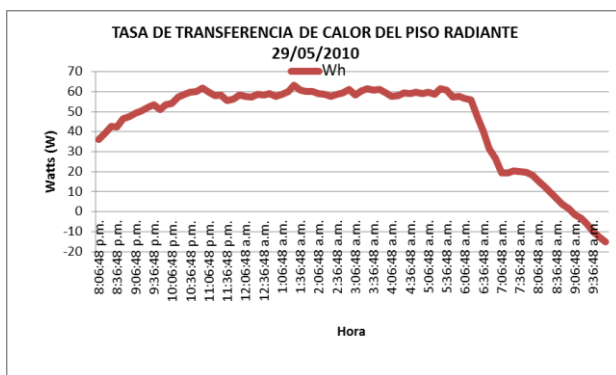


Fig. 87. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 29 de mayo del 2010

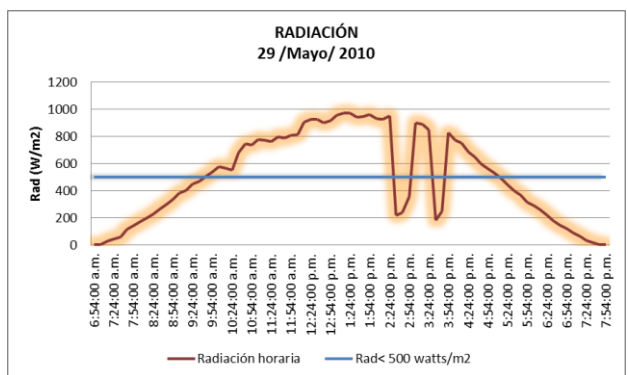


Fig. 88. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 29 mayo del 2010

30 de mayo 2010

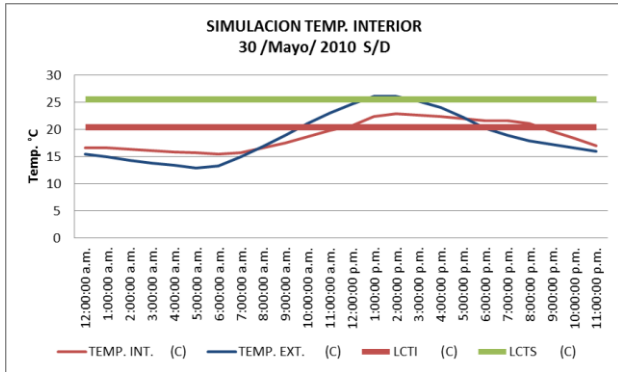


Fig. 89. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

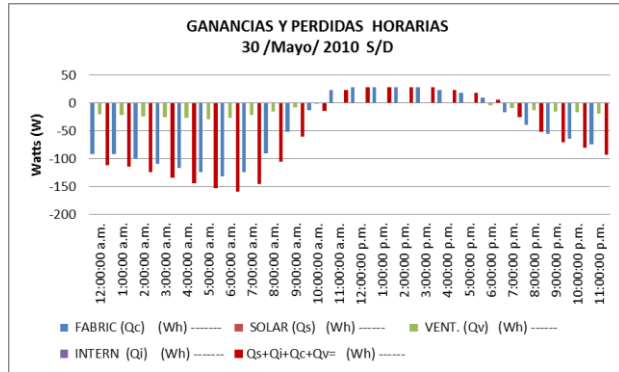


Fig. 90. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

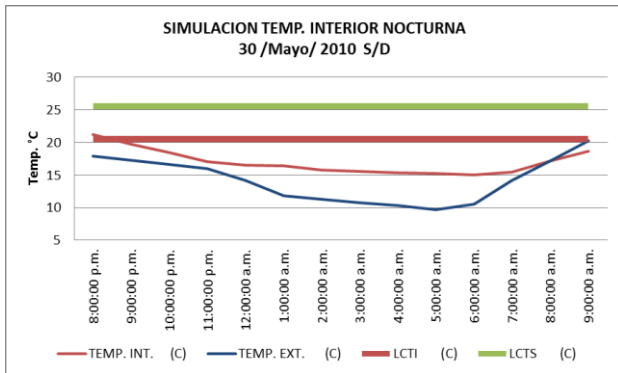


Fig. 91. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

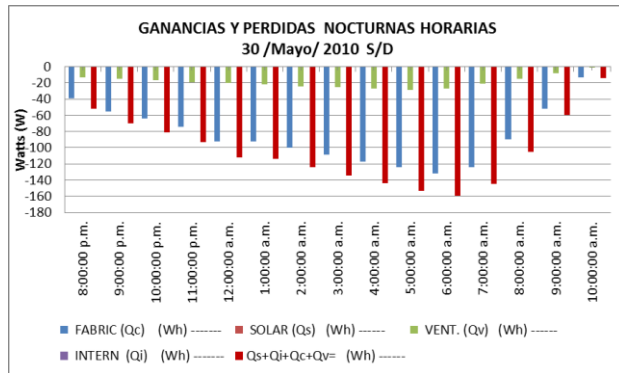


Fig. 92. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

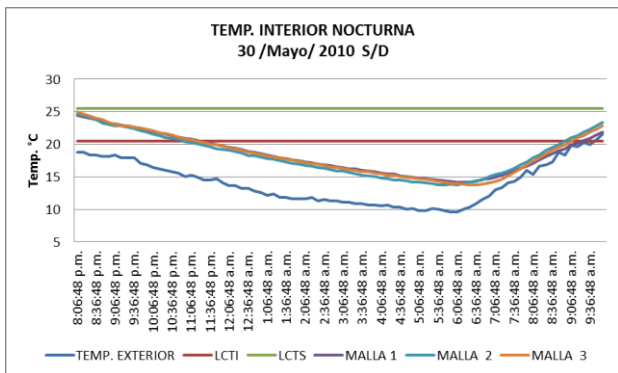


Fig. 93. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

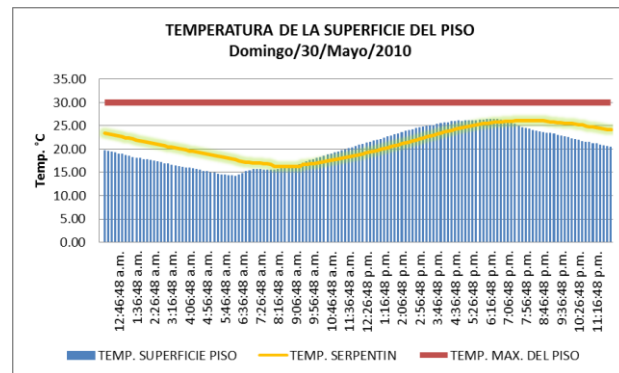


Fig. 94. Imagen que muestra la temperatura del agua interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

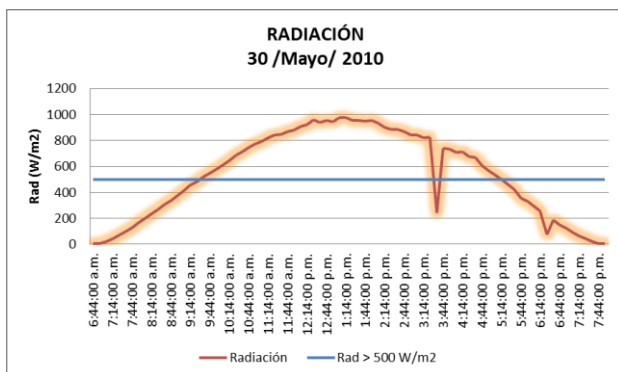


Fig. 95. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 30 de mayo del 2010

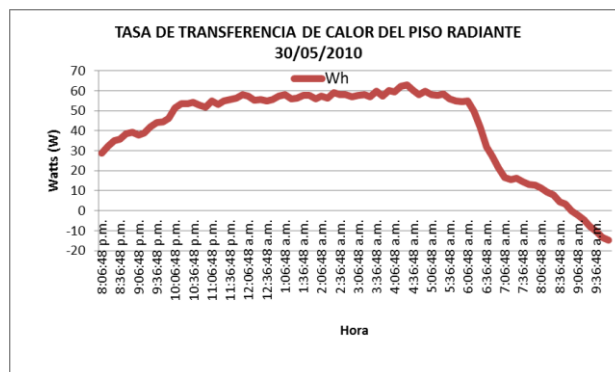


Fig. 96. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 30 mayo del 2010

31 de mayo 2010

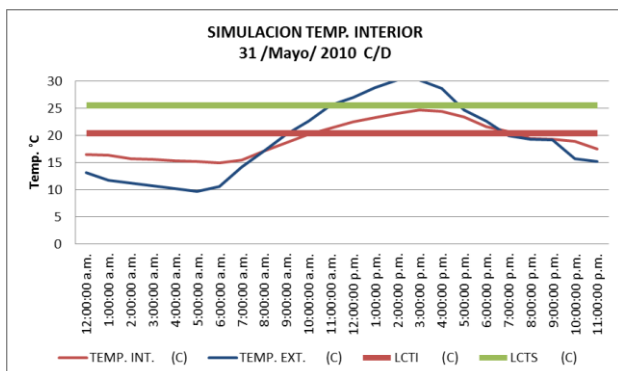


Fig. 97. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

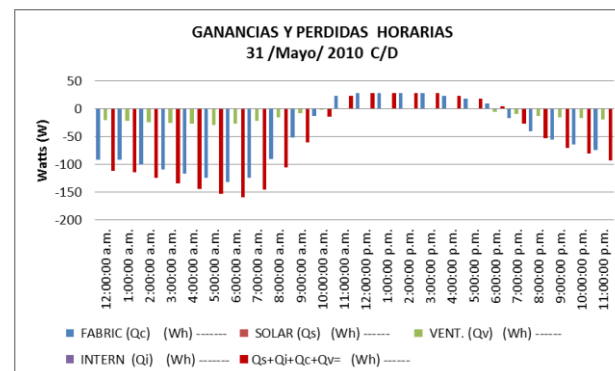


Fig. 98. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

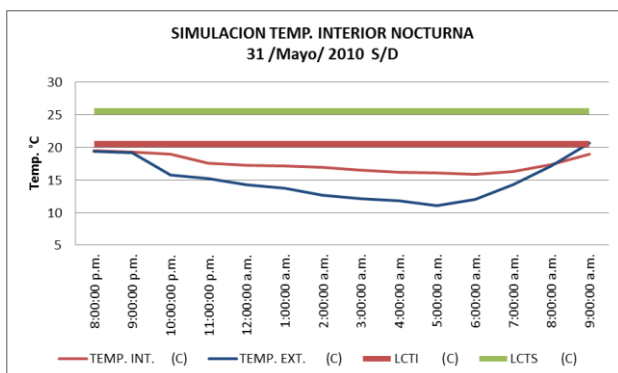


Fig. 99. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

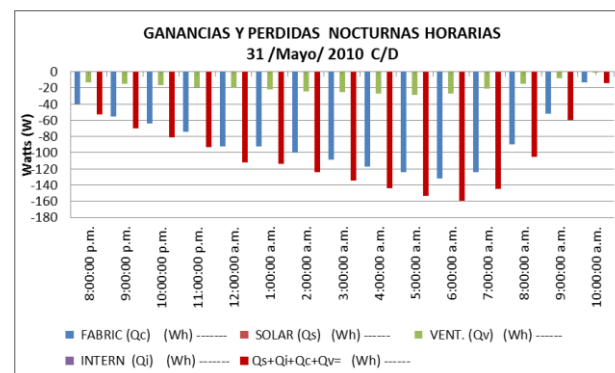


Fig. 100. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

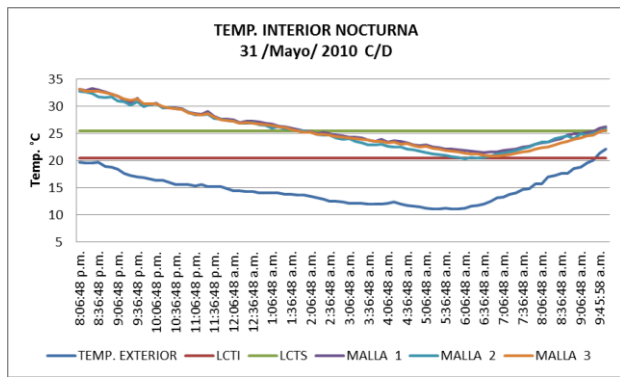


Fig. 101. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

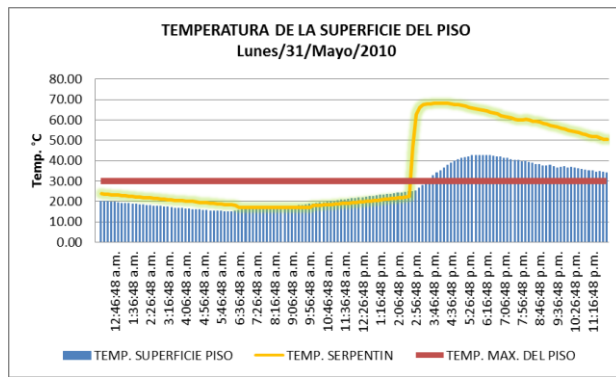


Fig. 102. Imagen que muestra la temperatura del agua interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

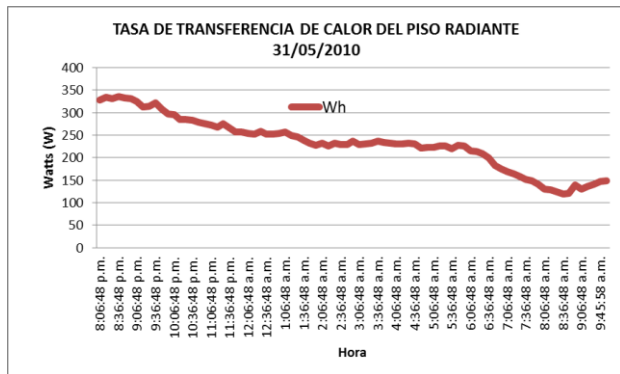


Fig. 103. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 31 de mayo del 2010

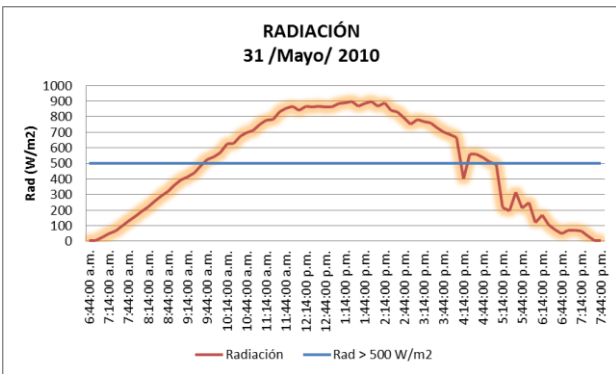


Fig. 104. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 31 mayo del 2010

1 de junio 2010

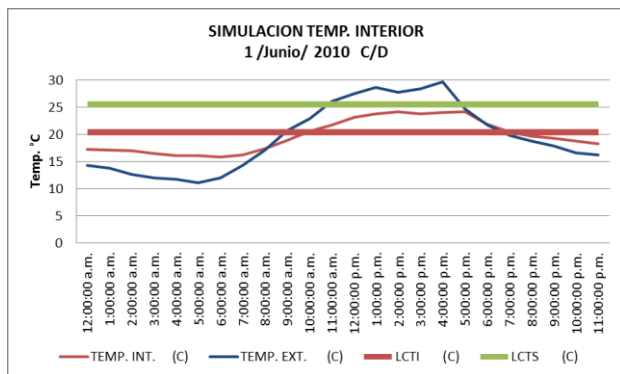


Fig. 105. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

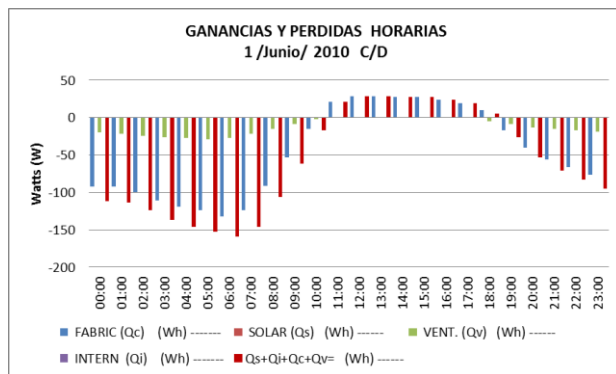


Fig. 106. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

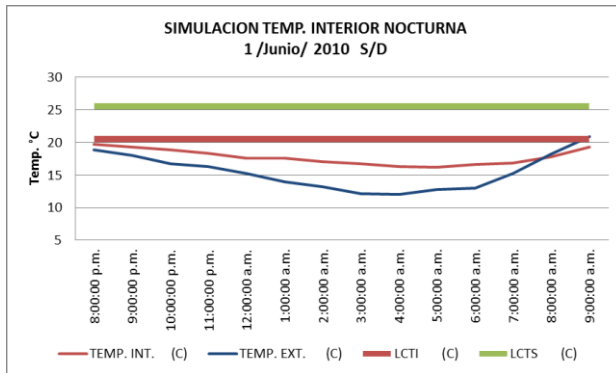


Fig. 107. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

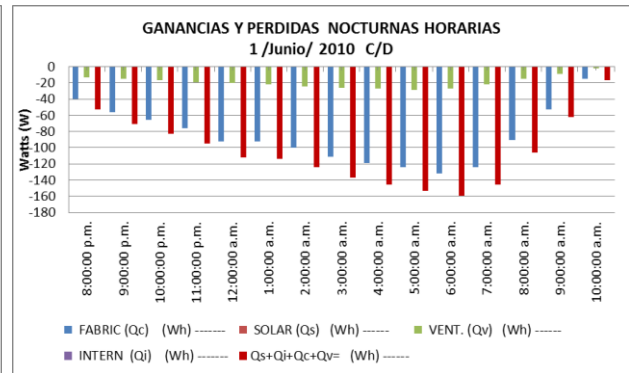


Fig. 108. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo sufre al ambiente exterior

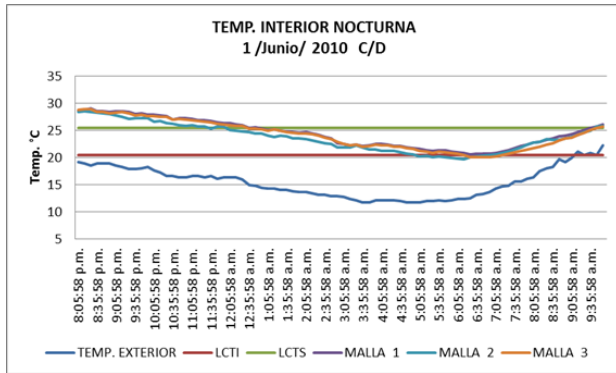


Fig. 109. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

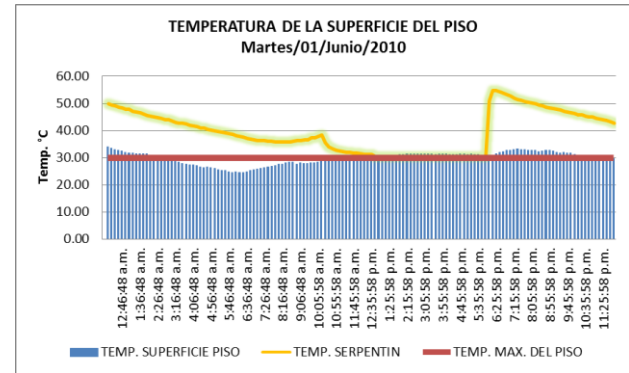


Fig. 110. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

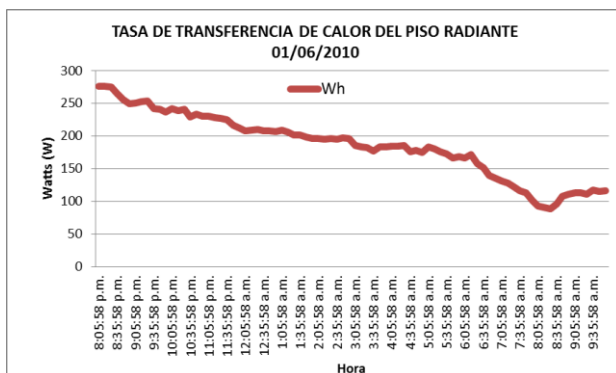


Fig. 111. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 1 de junio del 2010

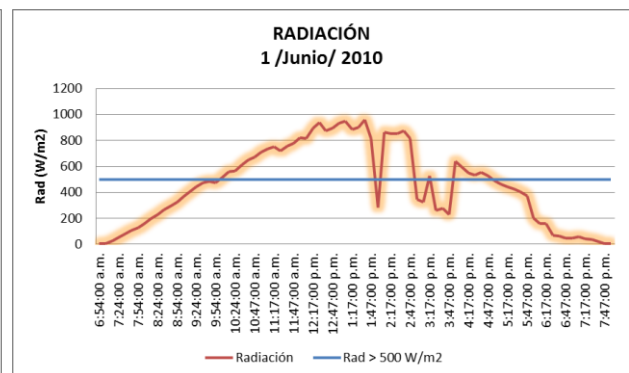


Fig. 112. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 1 de junio del 2010

2 de junio 2010

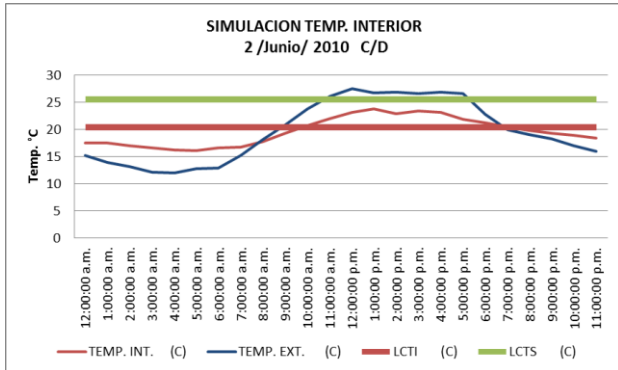


Fig. 113. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

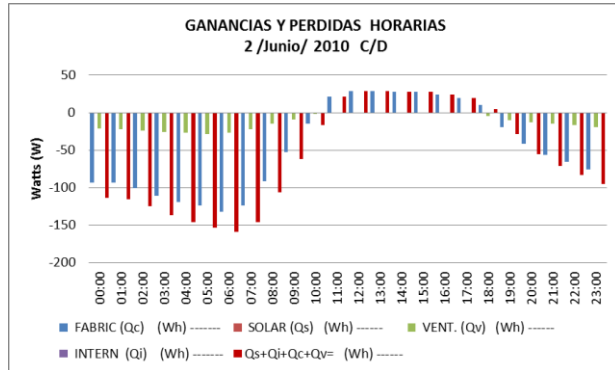


Fig. 114. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

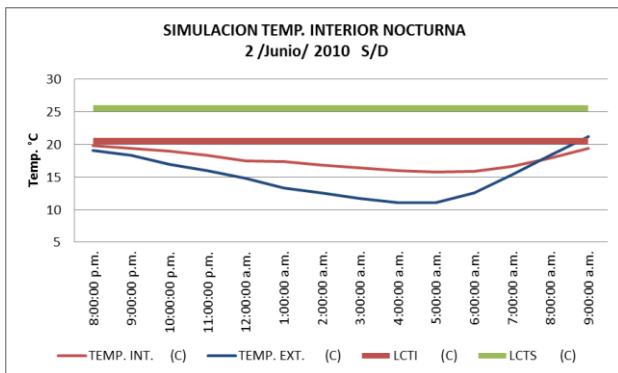


Fig. 115. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

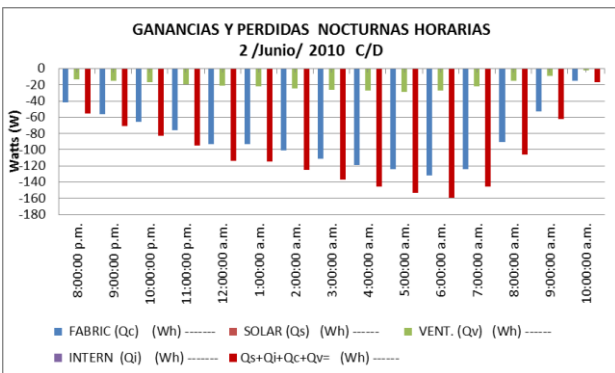


Fig. 116. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

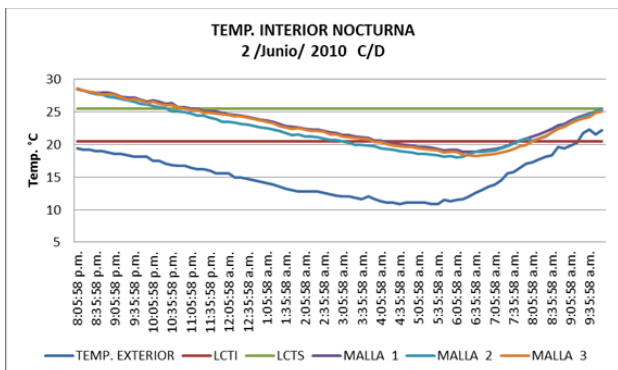


Fig. 117. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

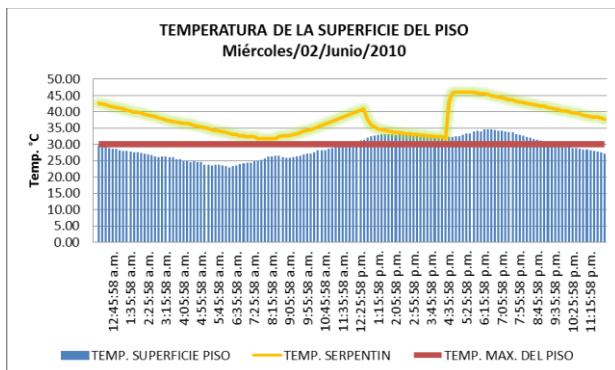


Fig. 118. Imagen que muestra la temperatura del agua interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

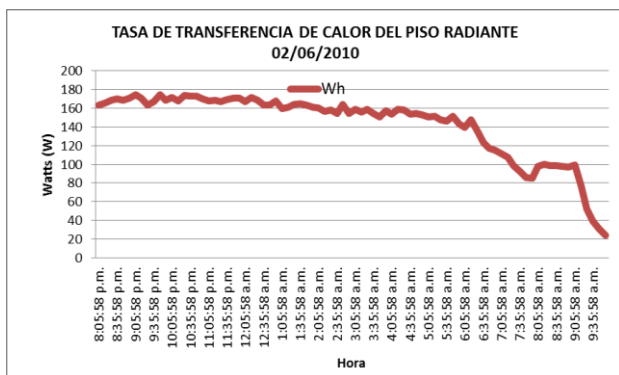


Fig. 119. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 2 de junio del 2010

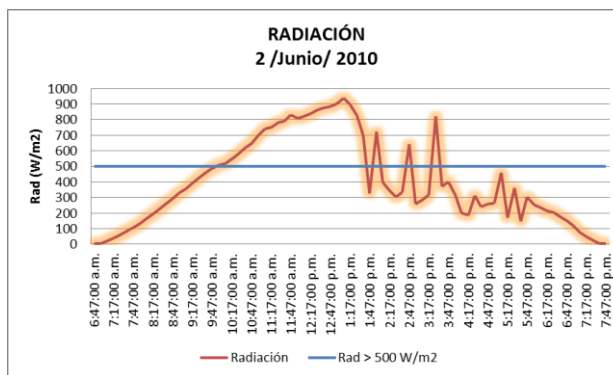


Fig. 120. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 2 de junio del 2010

3 de junio 2010

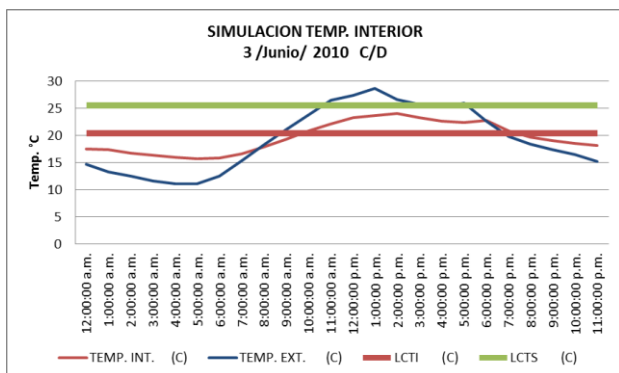


Fig. 121. - Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

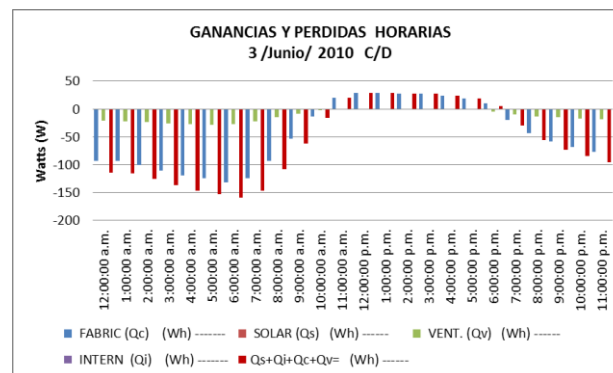


Fig. 122. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

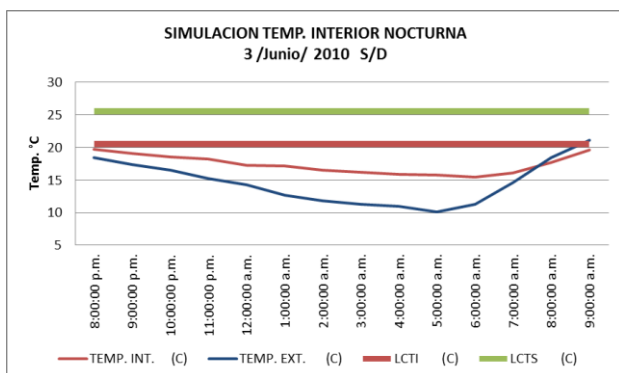


Fig. 123. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

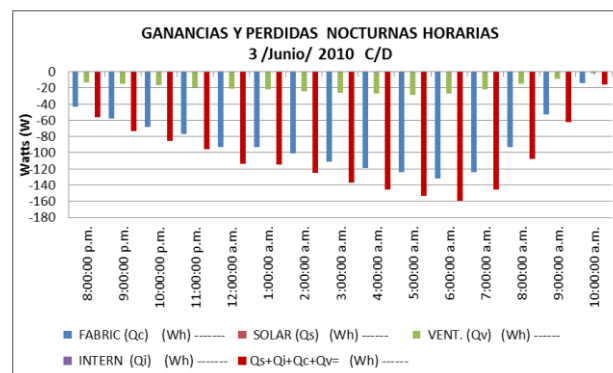


Fig. 124. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

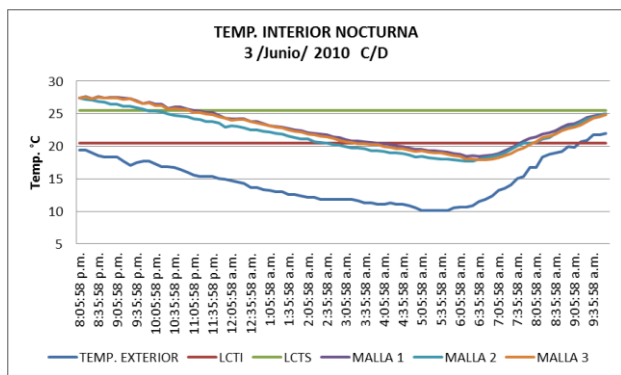


Fig. 125. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

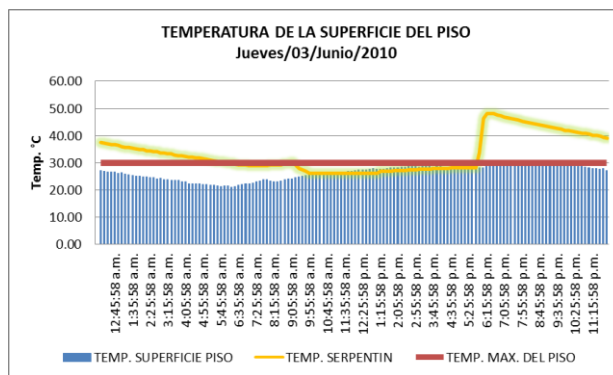


Fig. 126. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

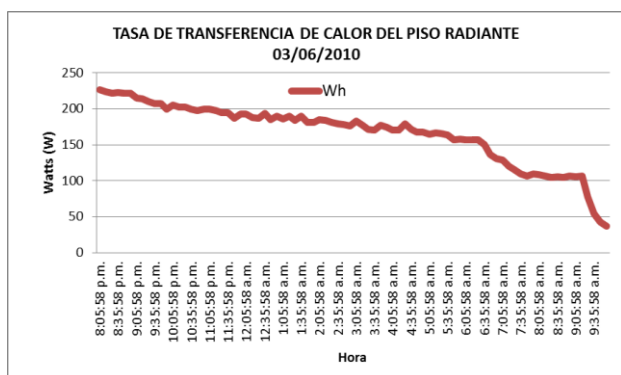


Fig. 127. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 3 de junio del 2010

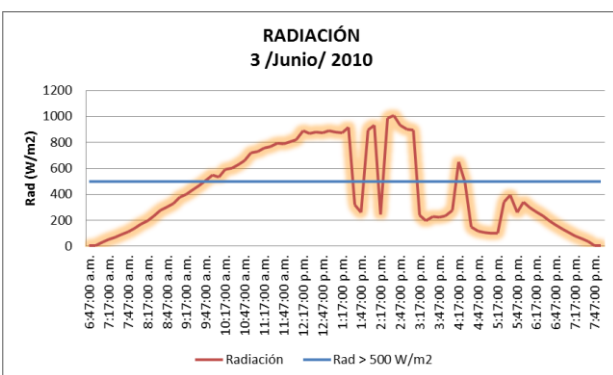


Fig. 128. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 3 de junio del 2010

4 de junio 2010

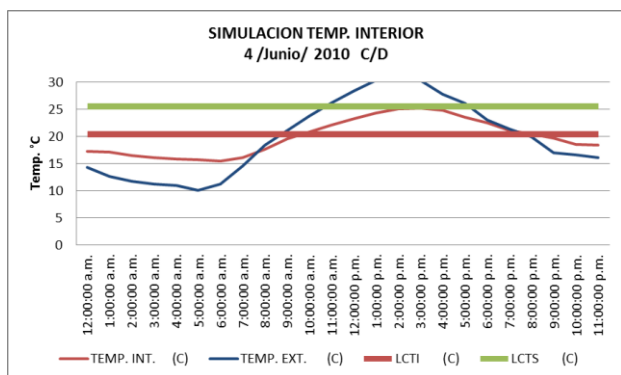


Fig. 129. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

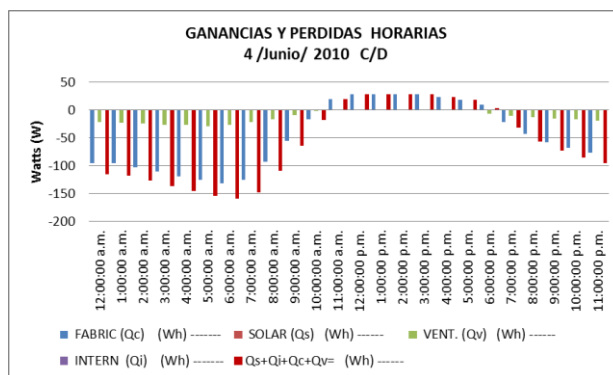


Fig. 130. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

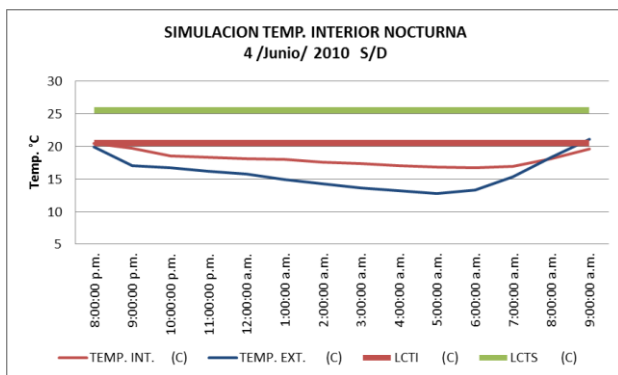


Fig. 131. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

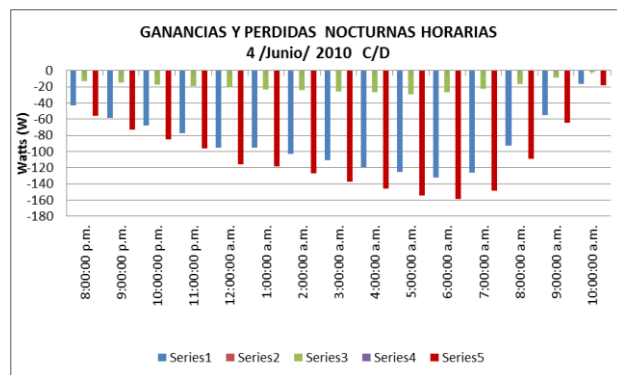


Fig. 132. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

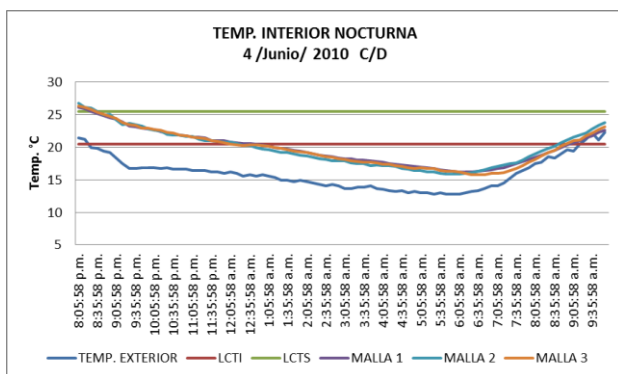


Fig. 133. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

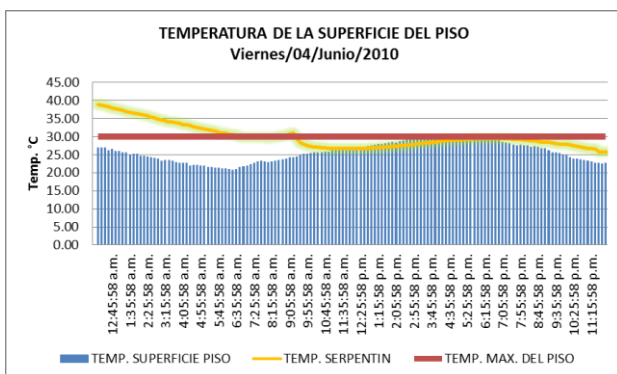


Fig. 134. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

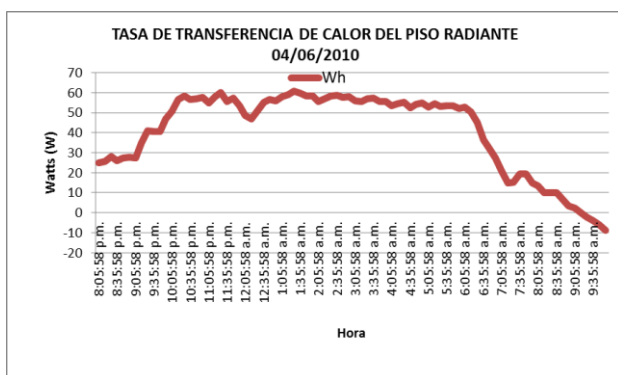


Fig. 135. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 4 de junio del 2010

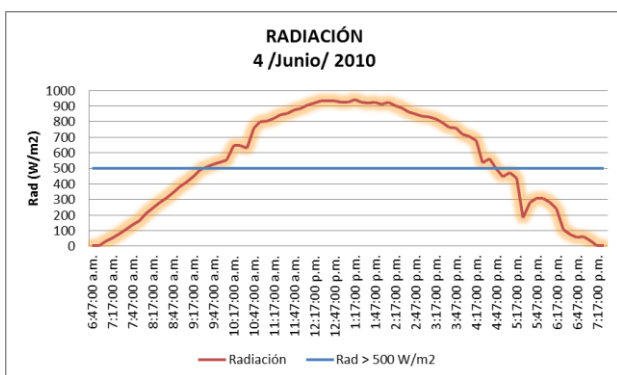


Fig. 136. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 4 de junio del 2010

5 de junio 2010

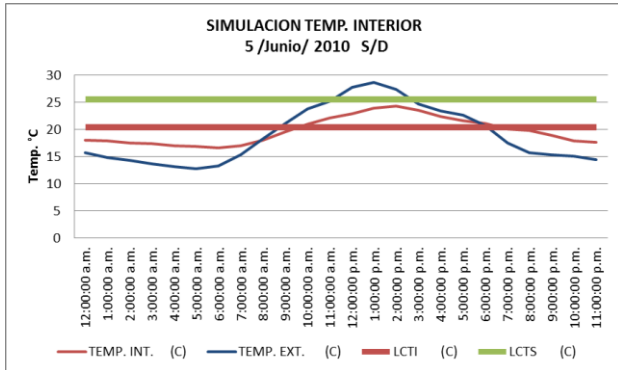


Fig. 137. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

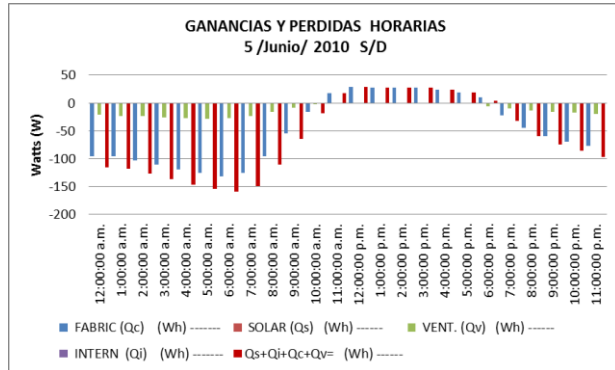


Fig. 138. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

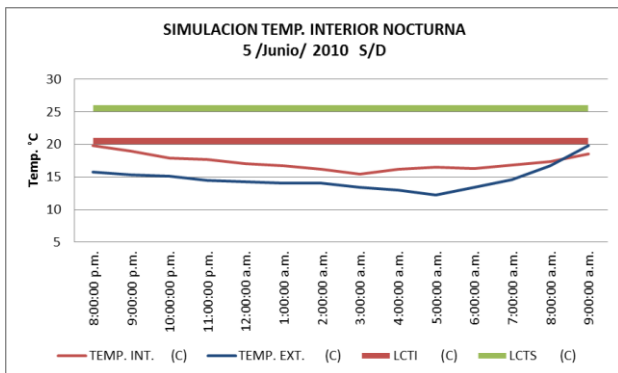


Fig. 139. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

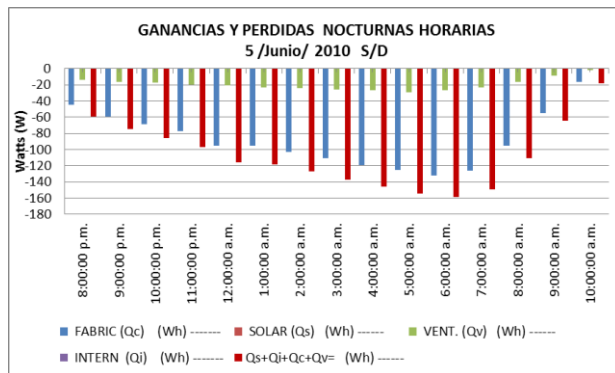


Fig. 140. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

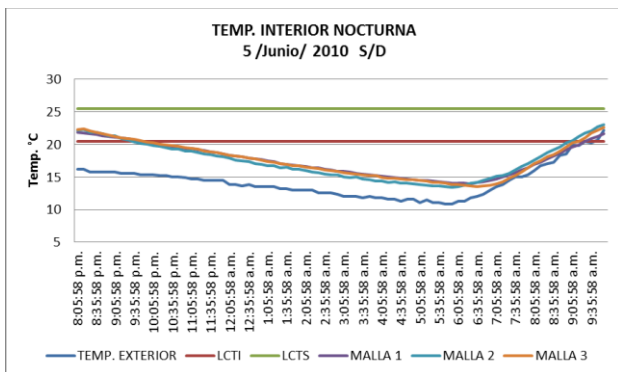


Fig. 141. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

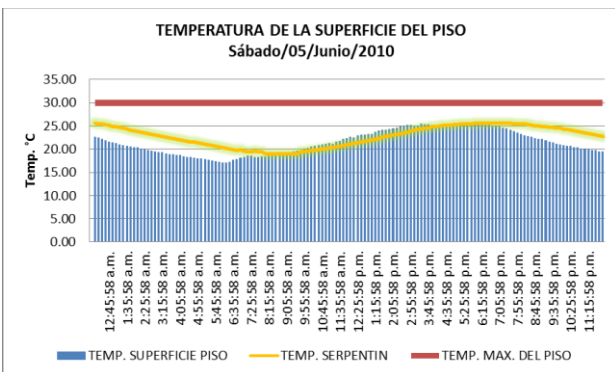


Fig. 142. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

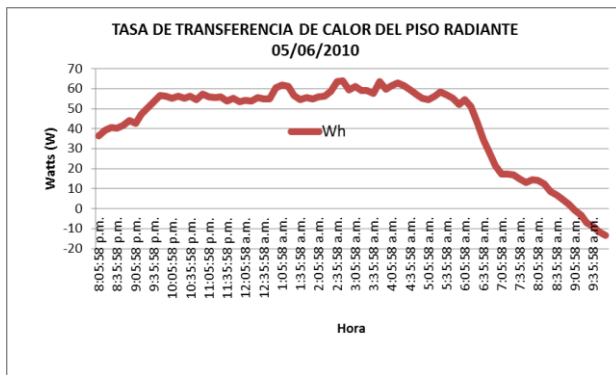


Fig. 143. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 1 junio del 2010

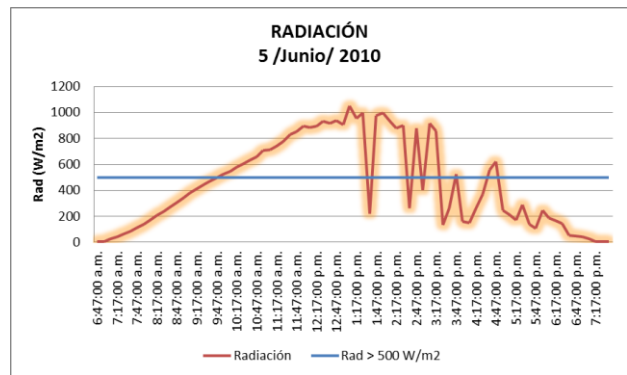


Fig. 144. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 19 mayo del 2010

7 de junio 2010

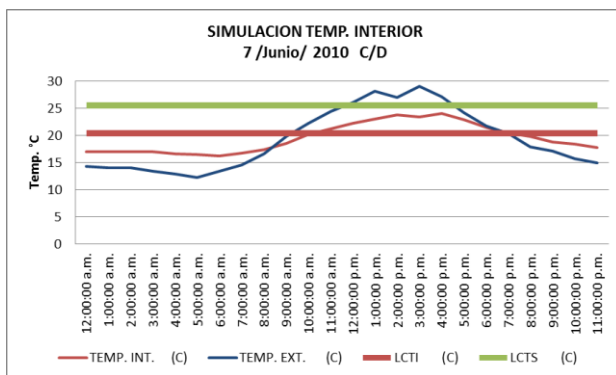


Fig. 145. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

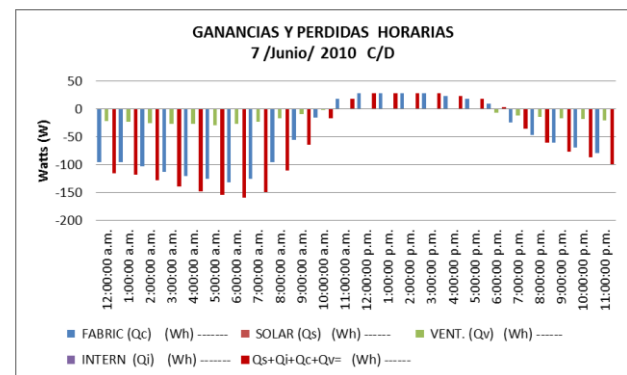


Fig. 146. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

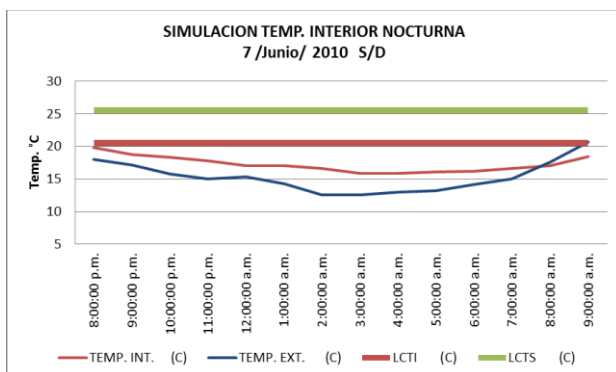


Fig. 147. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

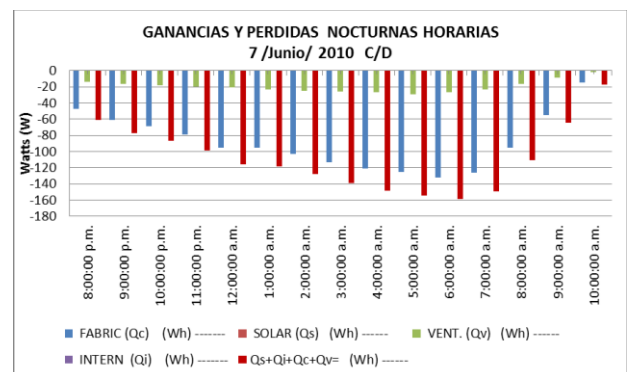


Fig. 148. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

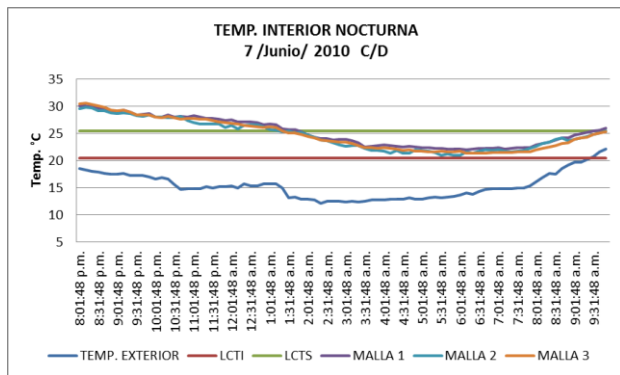


Fig. 149. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

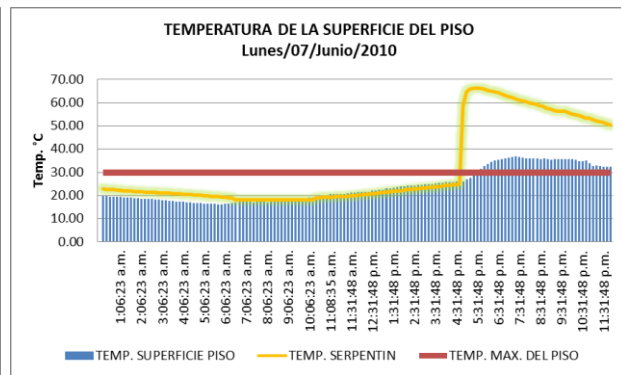


Fig. 150. Imagen que muestra la temperatura del agua interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

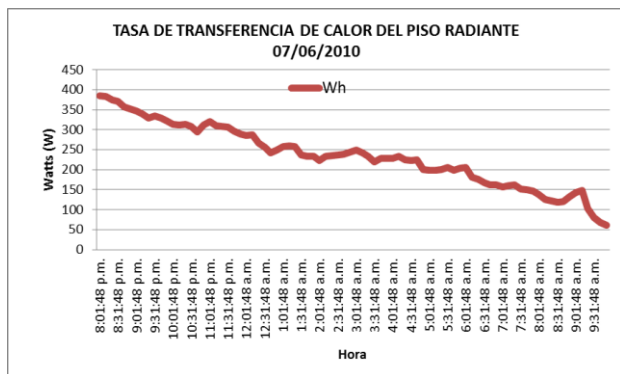


Fig. 151. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 7 de junio del 2010

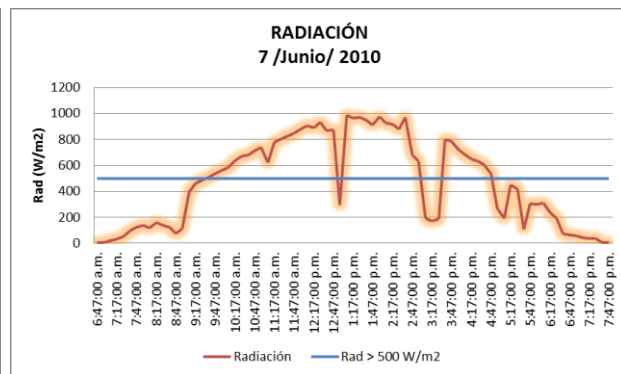


Fig. 152. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 7 de junio del 2010

8 de junio 2010

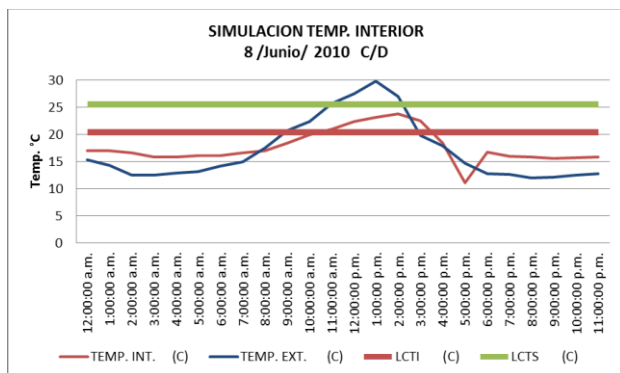


Fig. 153. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

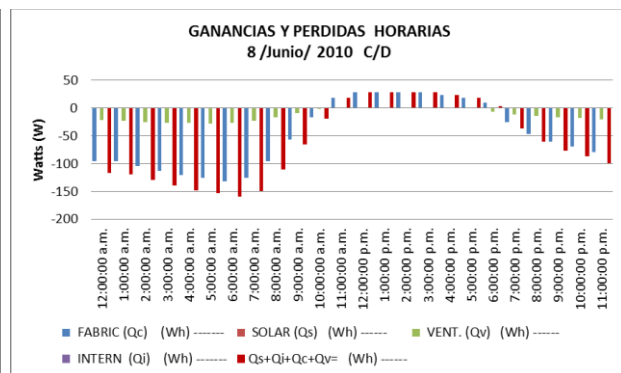


Fig. 154. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

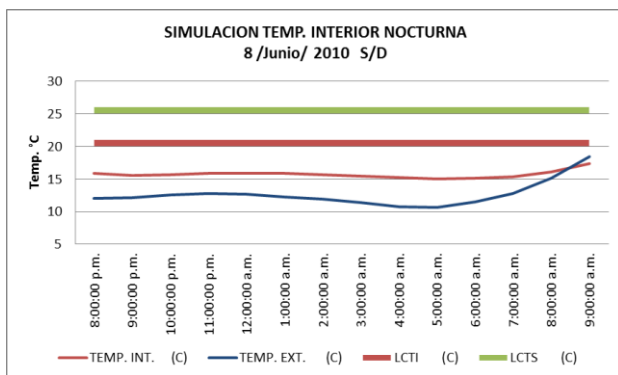


Fig. 155. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

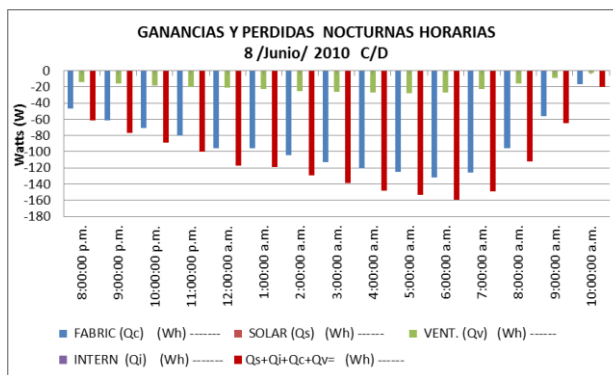


Fig. 156. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

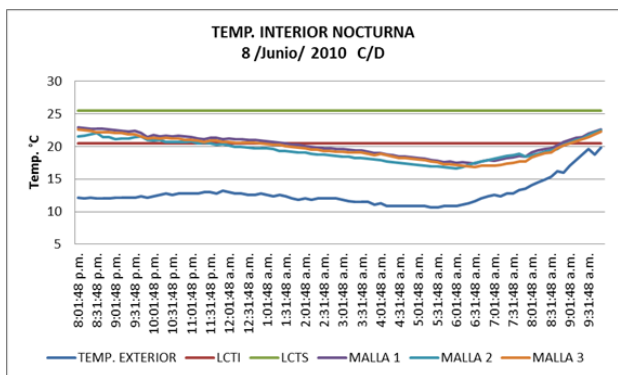


Fig. 157. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

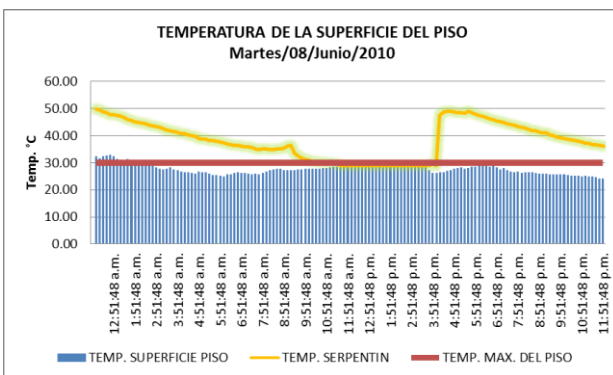


Fig. 158. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

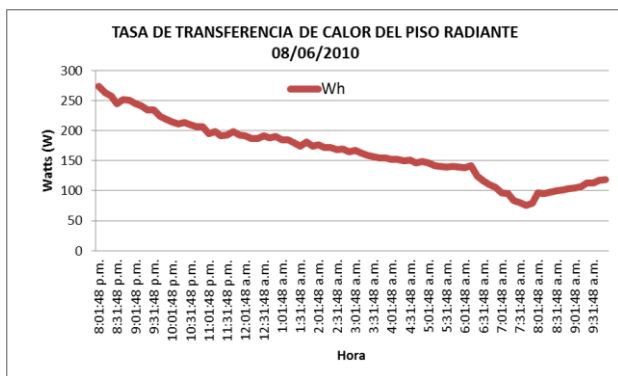


Fig. 159. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 8 junio del 2010

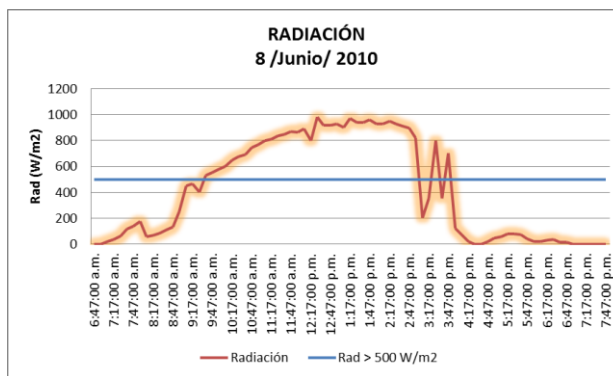


Fig. 160. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 8 de junio del 2010

9 de junio 2010

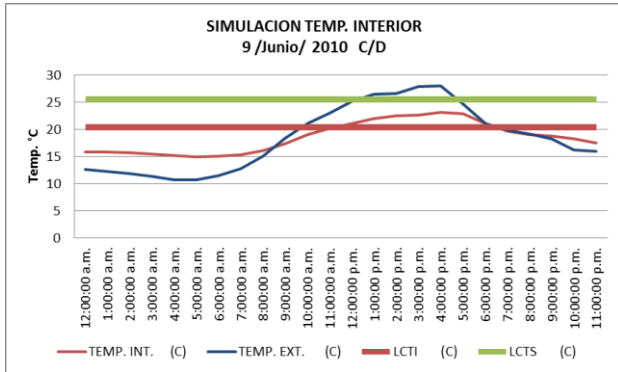


Fig. 161. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

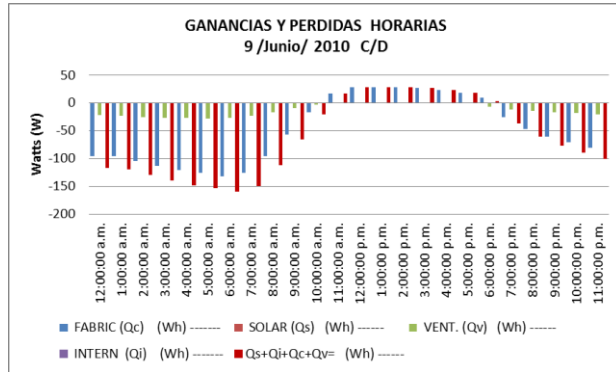


Fig. 162. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

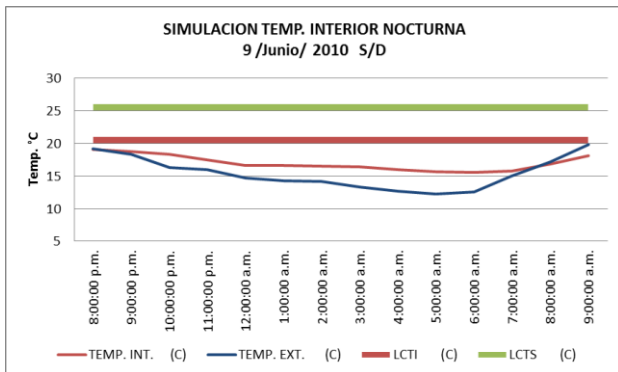


Fig. 163. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

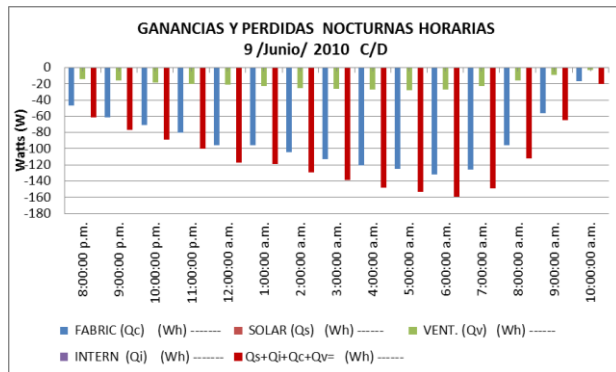


Fig. 164. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

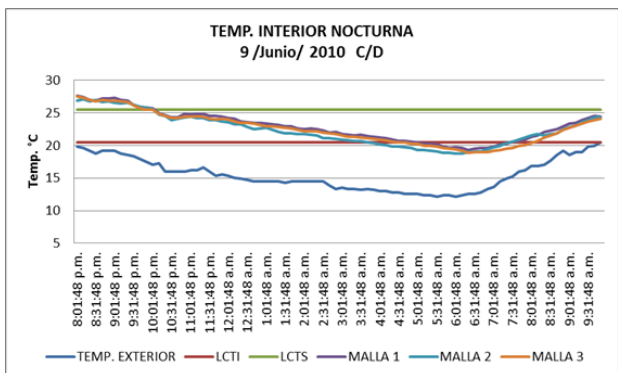


Fig. 165. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

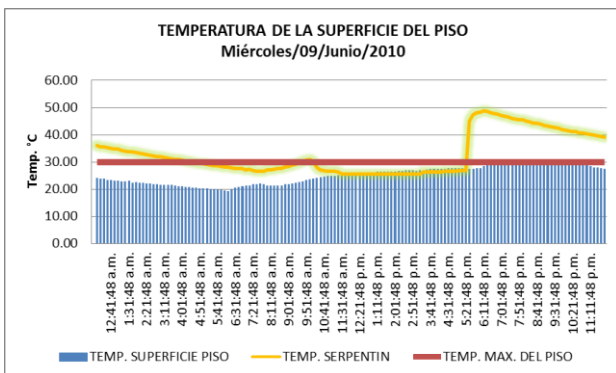


Fig. 166. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

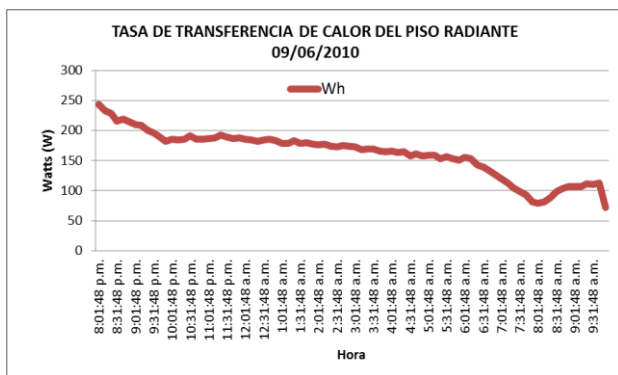


Fig. 167. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 9 junio del 2010

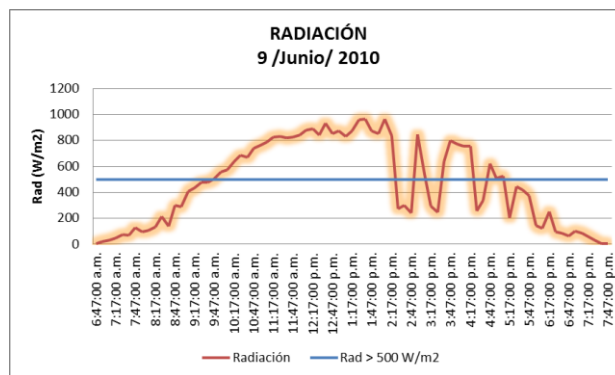


Fig. 168. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 9 junio del 2010

15 de junio 2010

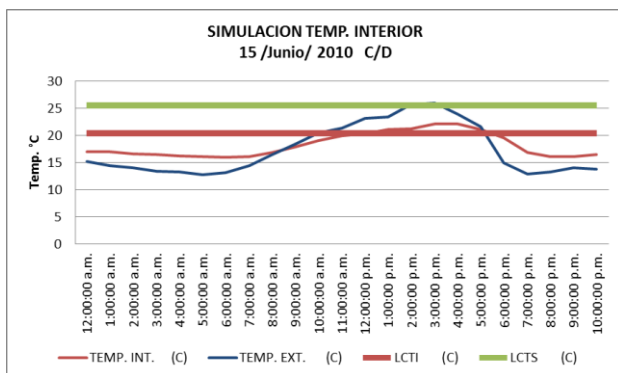


Fig. 169. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

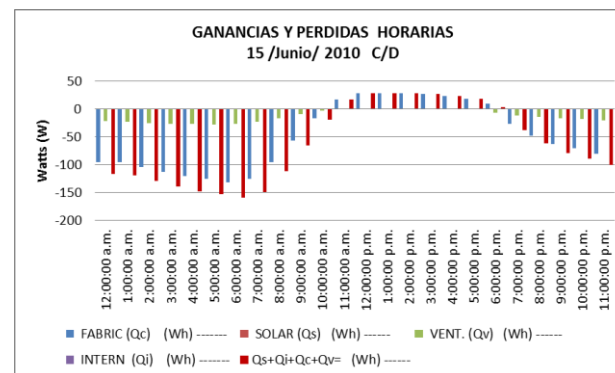


Fig. 170. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

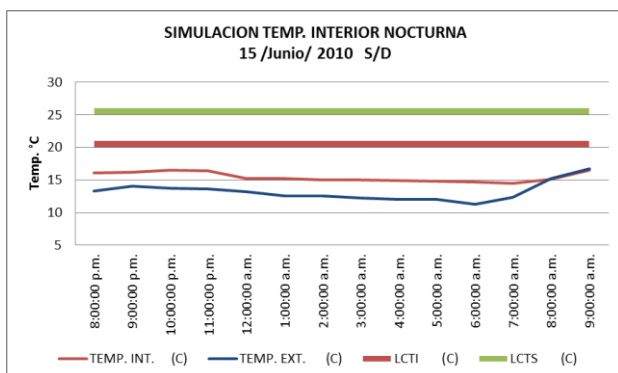


Fig. 171. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

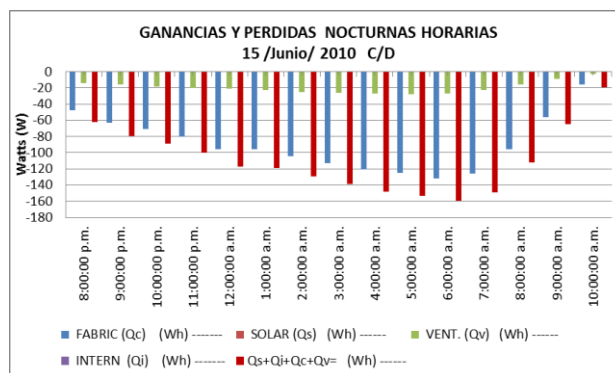


Fig. 172. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

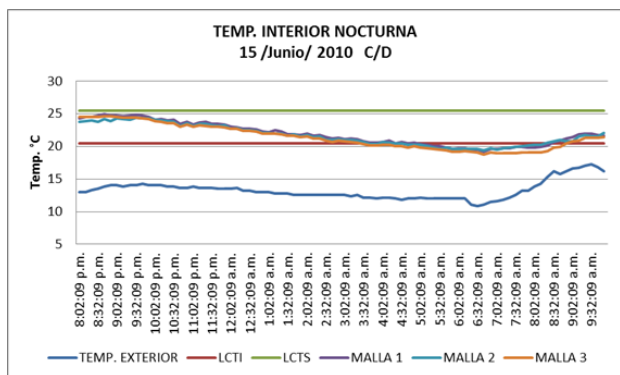


Fig. 173. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

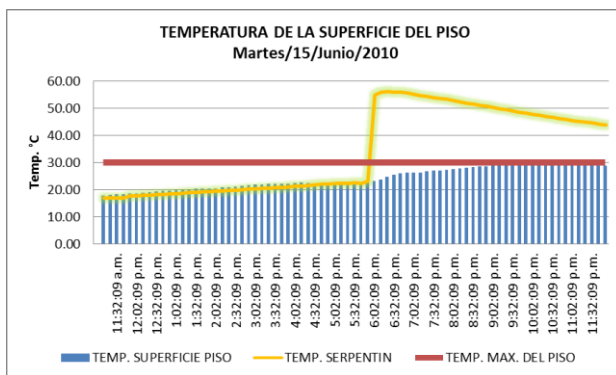


Fig. 174. Imagen que muestra la temperatura del agua interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

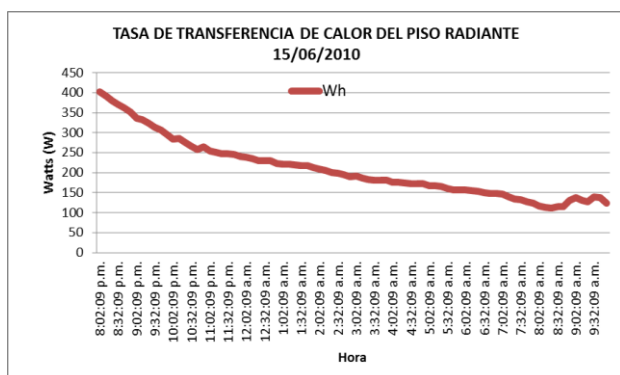


Fig. 175. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 15 de junio del 2010

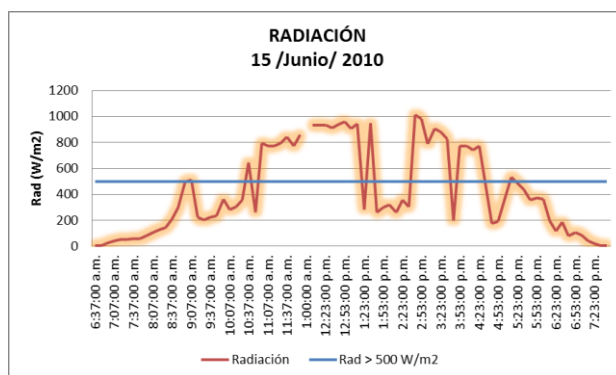


Fig. 176. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 15 de junio del 2010

16 de junio 2010

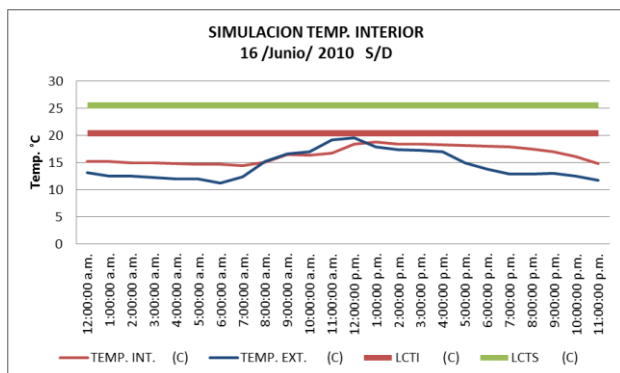


Fig. 177. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

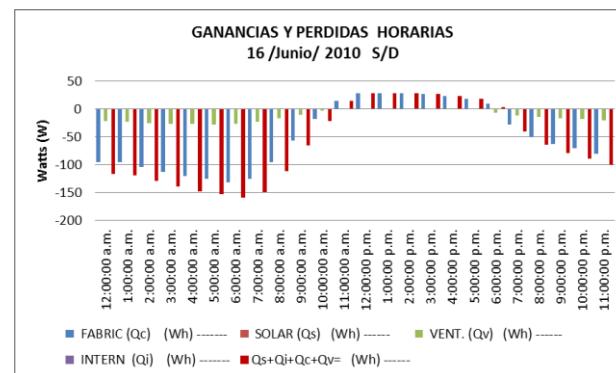


Fig. 178. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

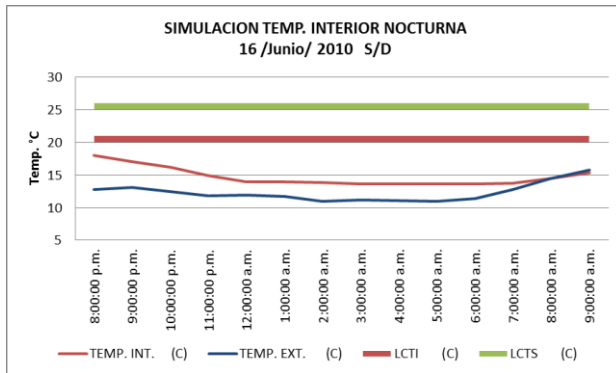


Fig. 179. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

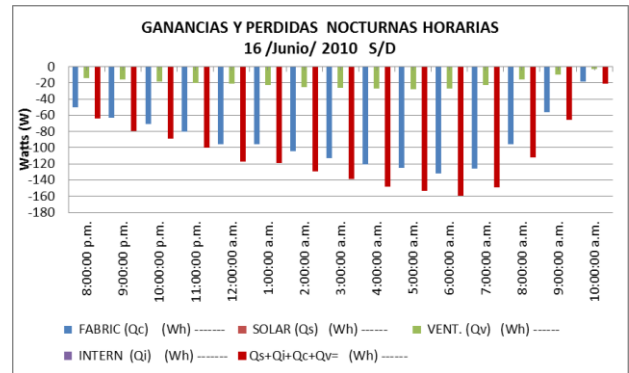


Fig. 180. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

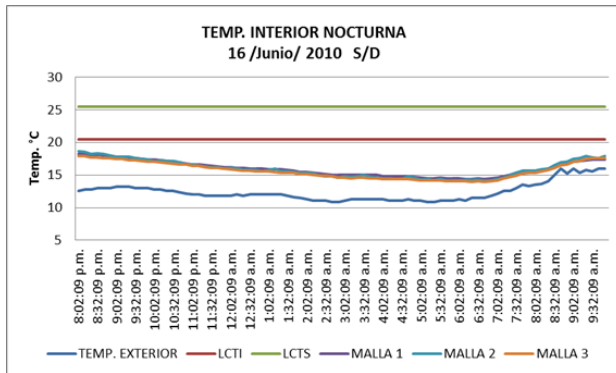


Fig. 181. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

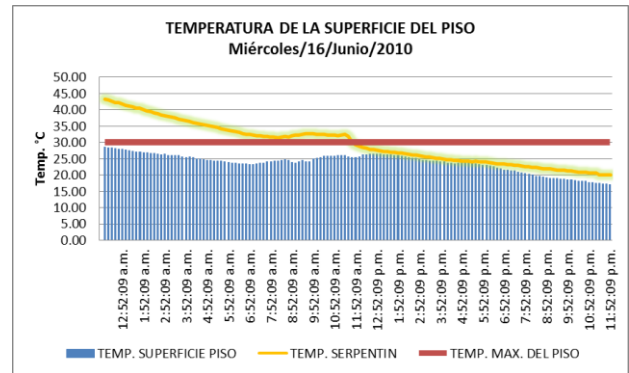


Fig. 182. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

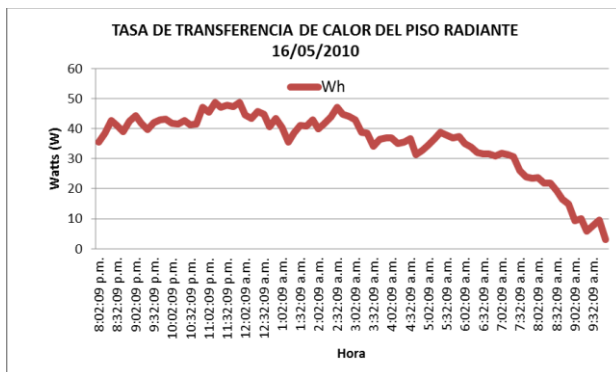


Fig. 183. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 16 junio del 2010

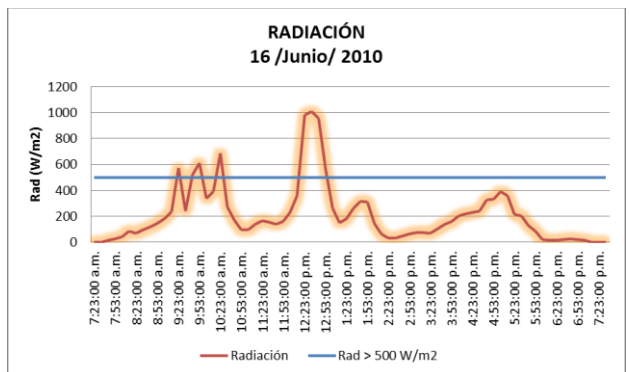


Fig. 184. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 16 de junio del 2010

17 de junio 2010

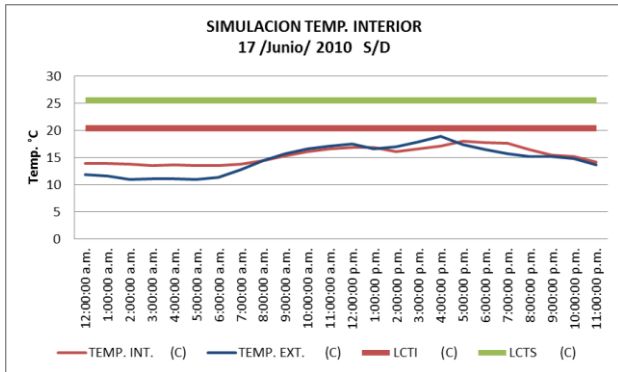


Fig. 185. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

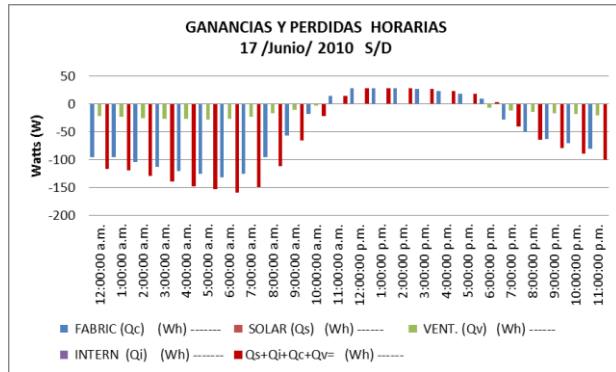


Fig. 186. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

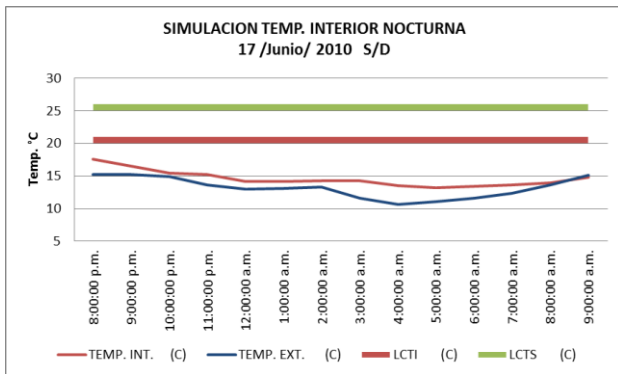


Fig. 187. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

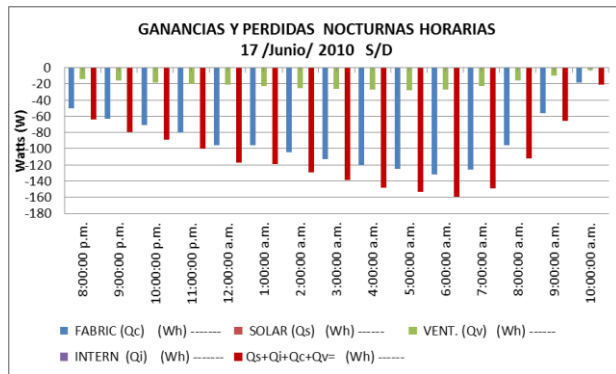


Fig. 188. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

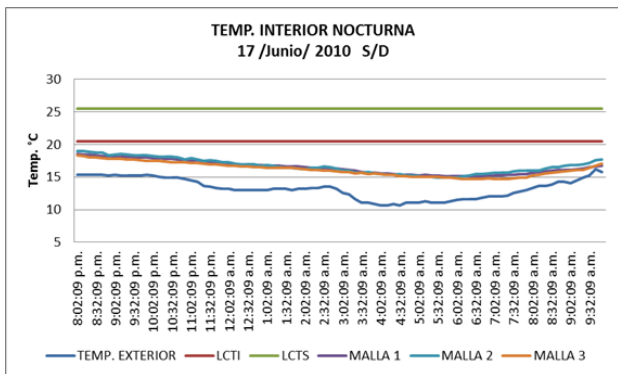


Fig. 189. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

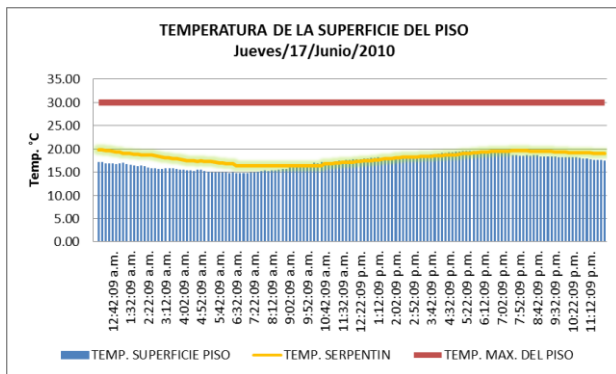


Fig. 190. Imagen que muestra la temperatura del agua interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

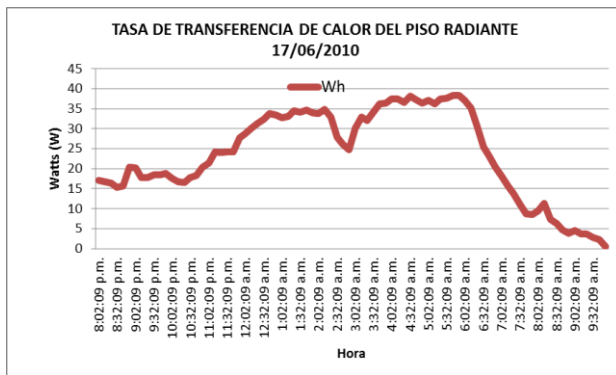


Fig. 191. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 17 junio del 2010

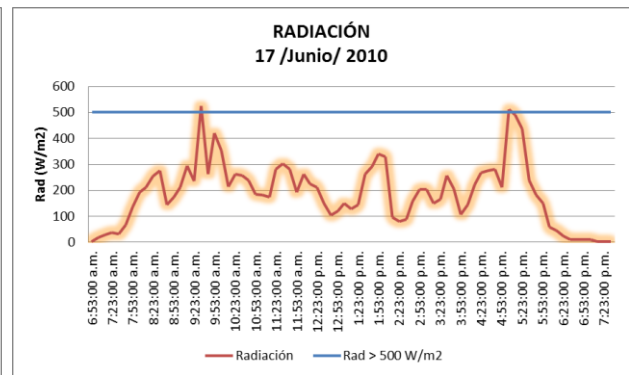


Fig. 192. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 17 junio del 2010

18 de junio 2010

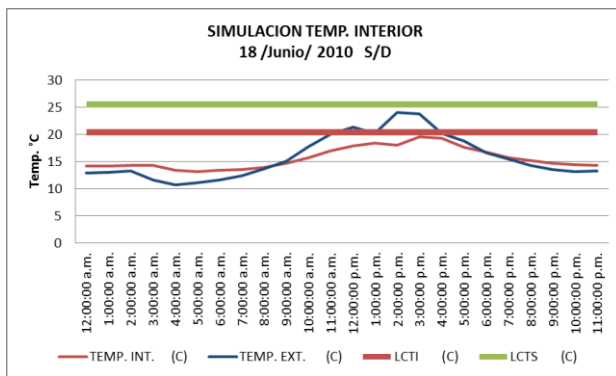


Fig. 193. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

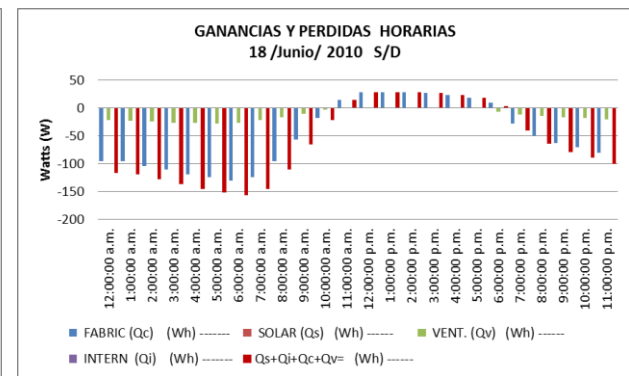


Fig. 194. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

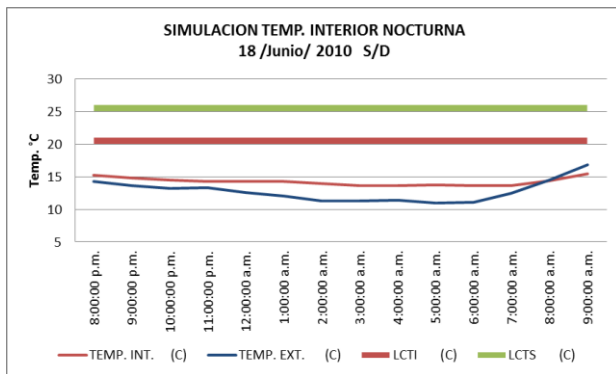


Fig. 195. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

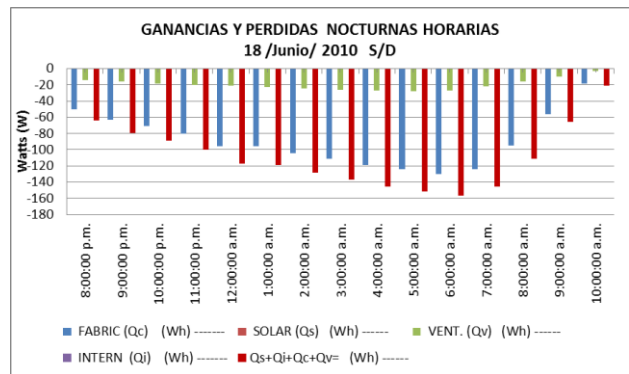


Fig. 196. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

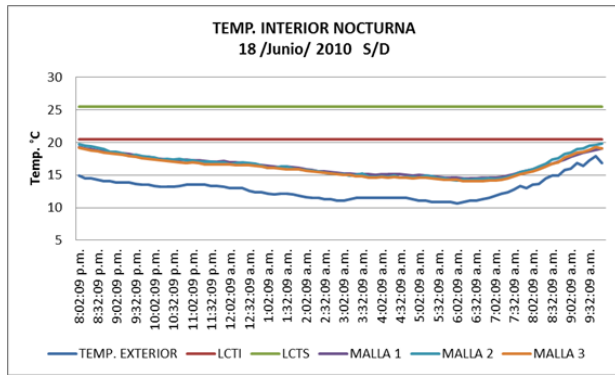


Fig. 197. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

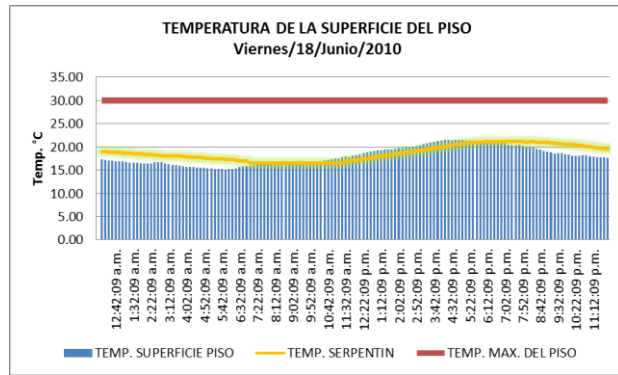


Fig. 198. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

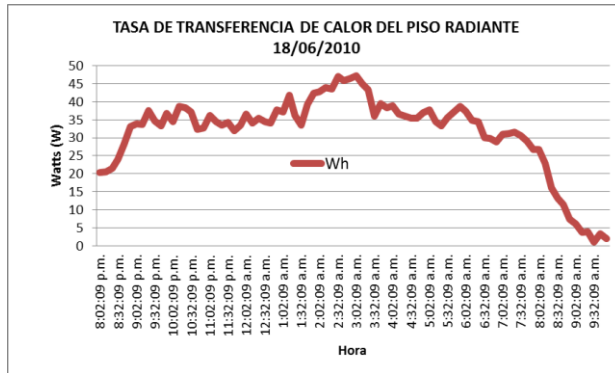


Fig. 199. Figura 5- Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 18 de junio del 2010

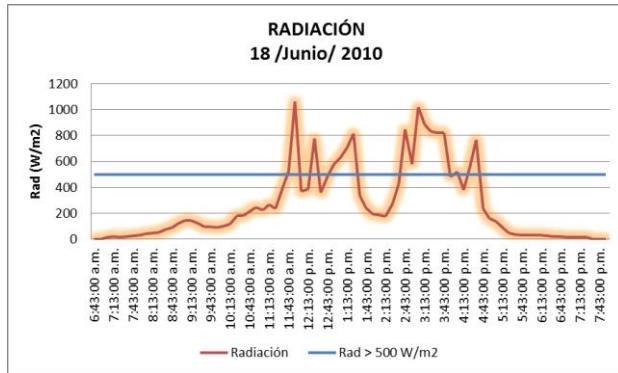


Fig. 200. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 18 de junio del 2010

19 de junio 2010

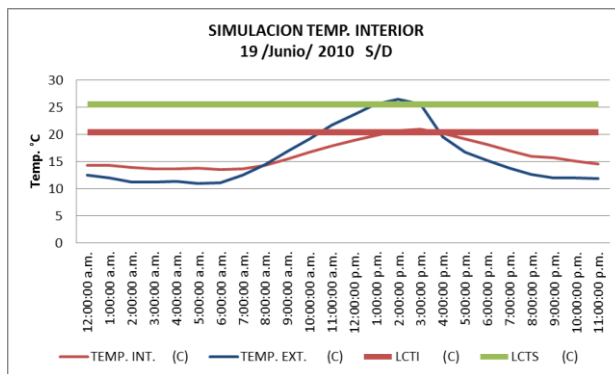


Fig. 201. - Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

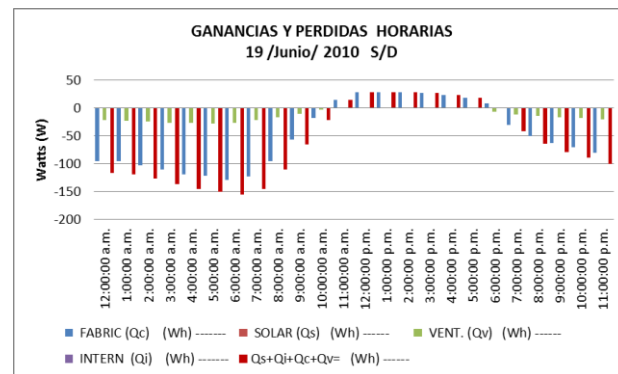


Fig. 202. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

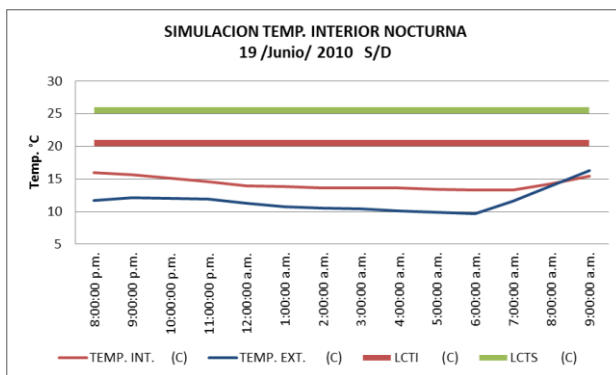


Fig. 203. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

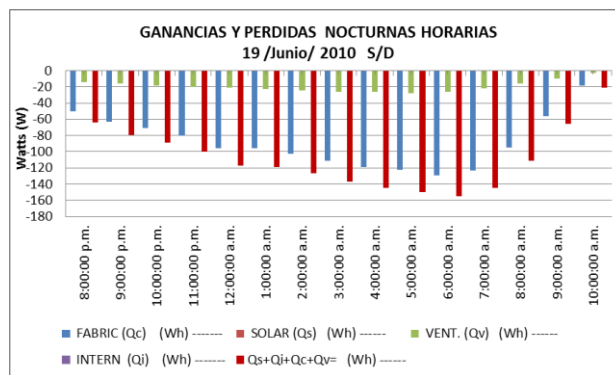


Fig. 204. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

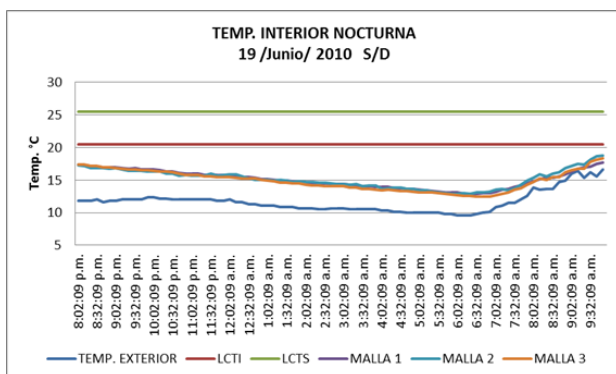


Fig. 205. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

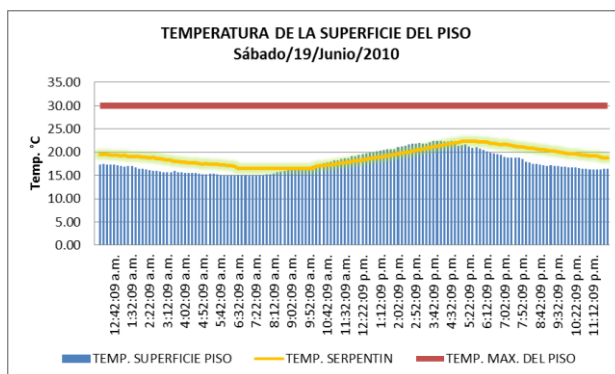


Fig. 206. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

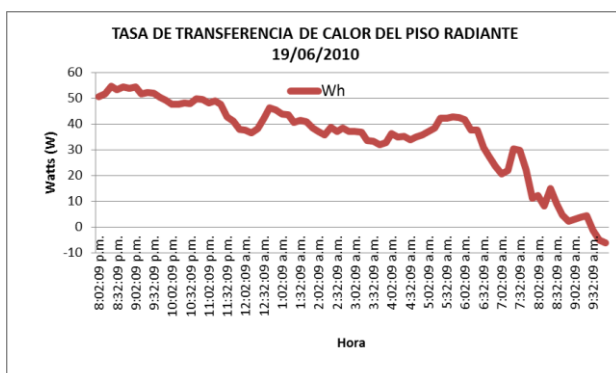


Fig. 207. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 19 junio del 2010

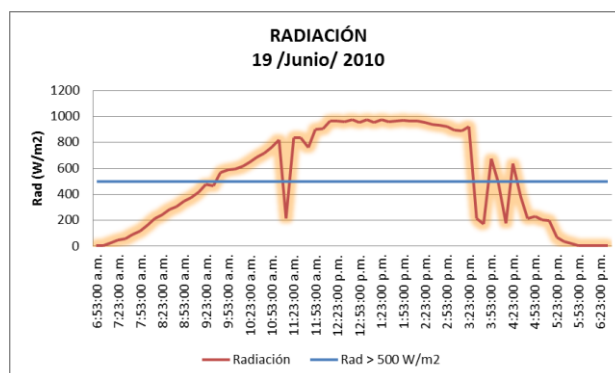


Fig. 208. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 19 junio del 2010

20 de junio 2010

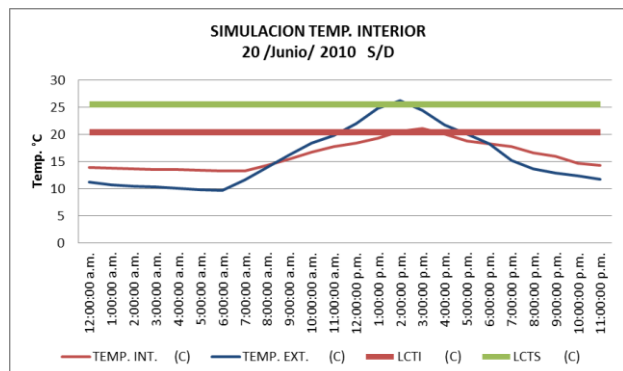


Fig. 209. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

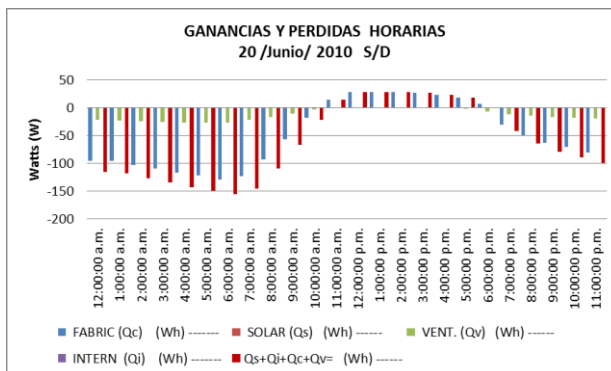


Fig. 210. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

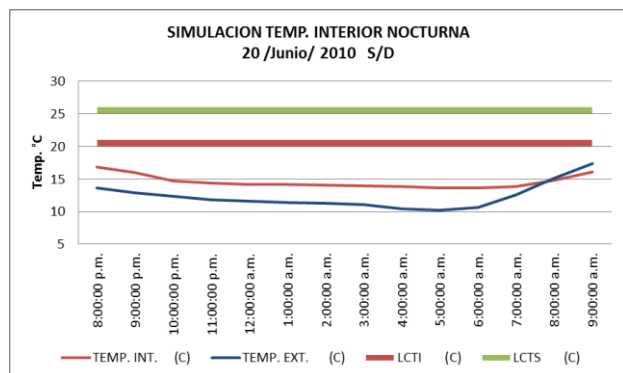


Fig. 211. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

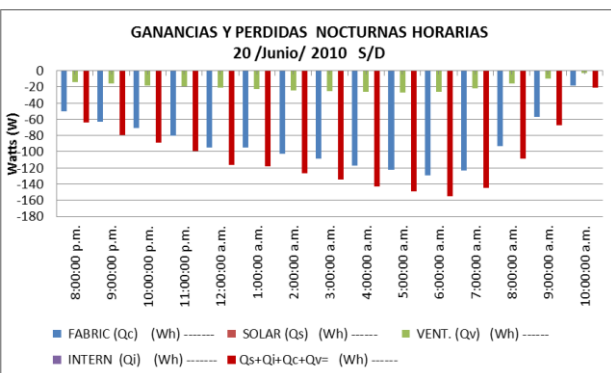


Fig. 212. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

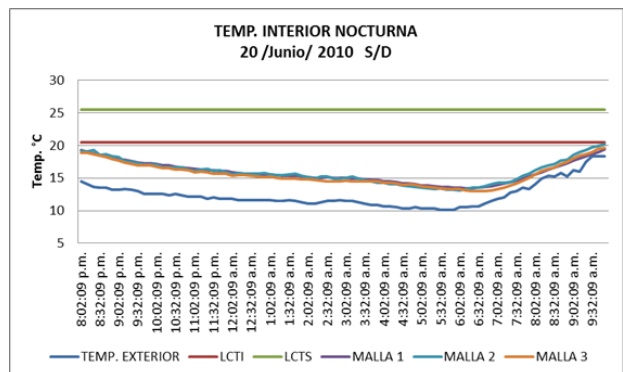


Fig. 213. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

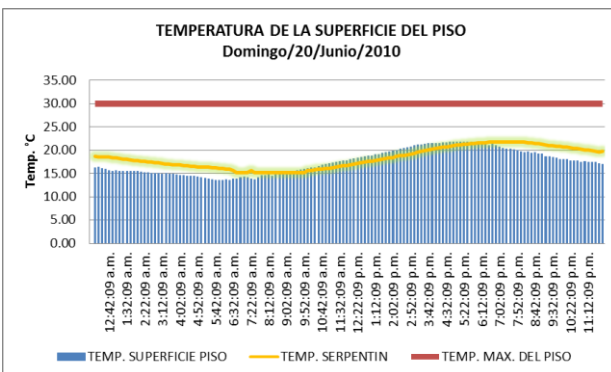


Fig. 214. Imagen que muestra la temperatura del agua del interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

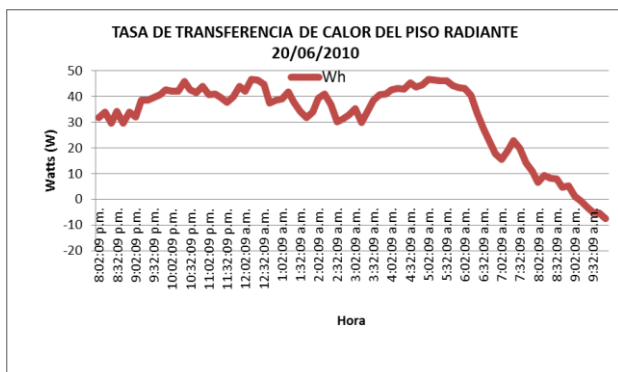


Fig. 215. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 20 de junio del 2010

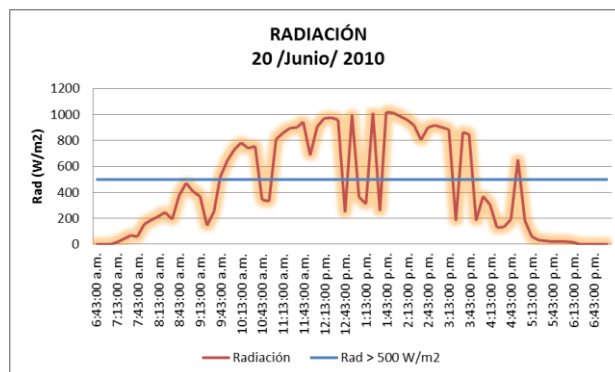


Fig. 216. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 20 de junio del 2010

21 de junio 2010

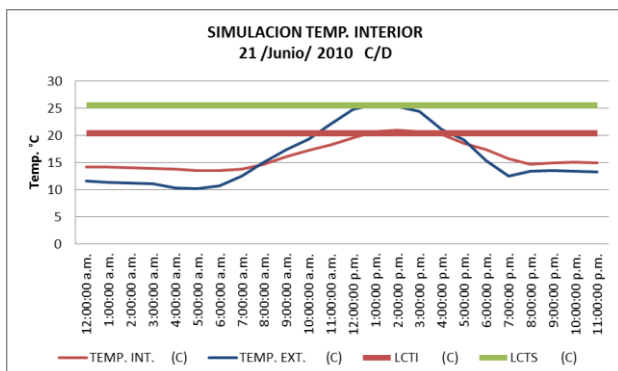


Fig. 217. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

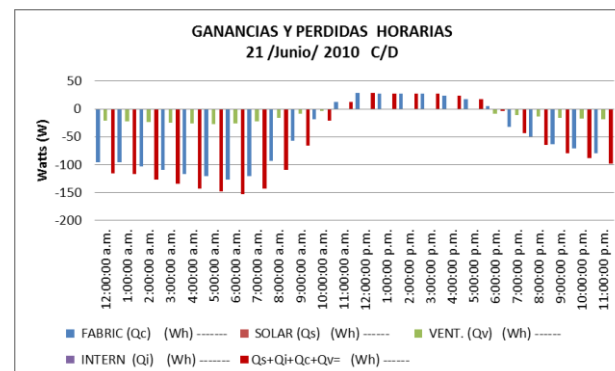


Fig. 218. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

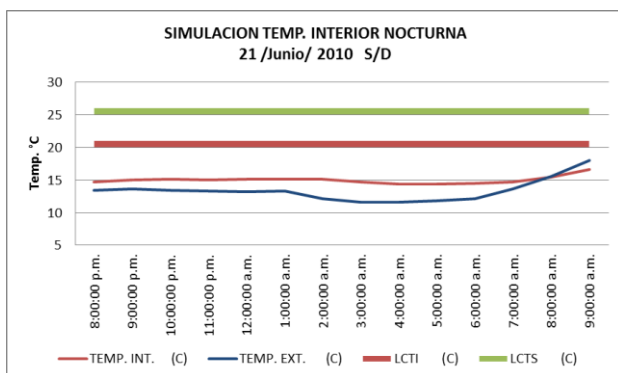


Fig. 219. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

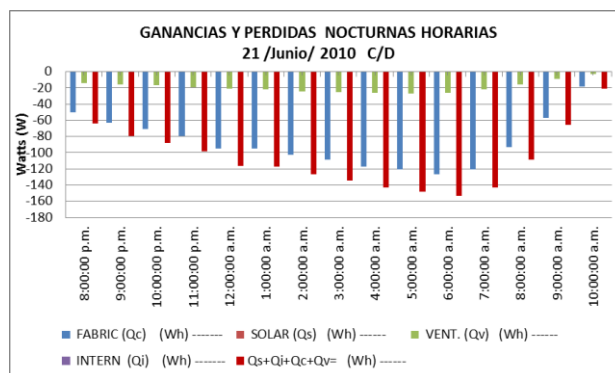


Fig. 220. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

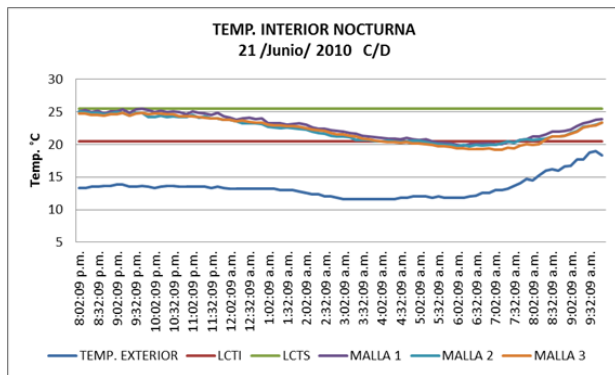


Fig. 221. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

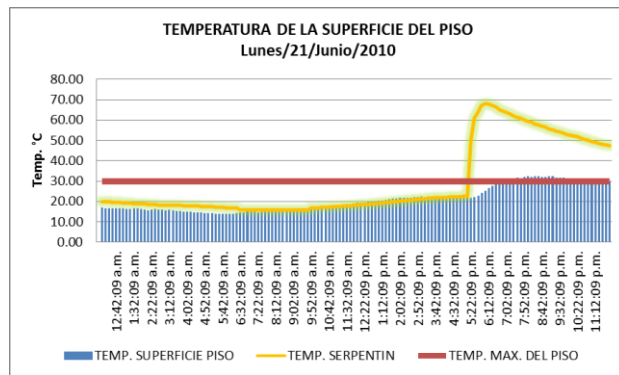


Fig. 222. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

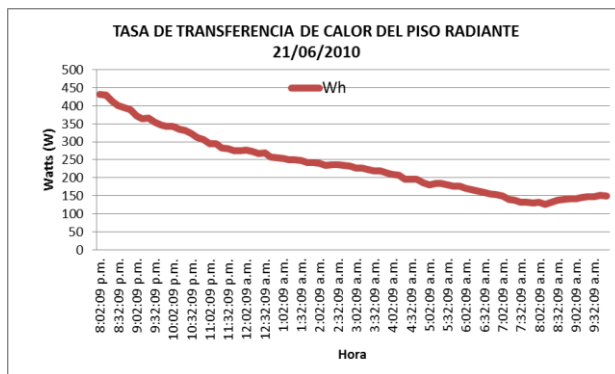


Fig. 223. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 21 junio del 2010

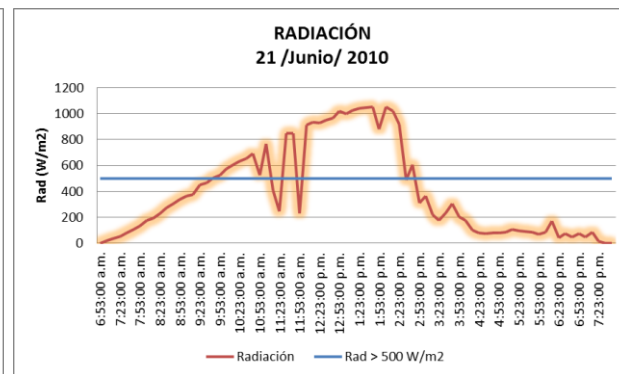


Fig. 224. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 21 de junio del 2010

22 de junio 2010

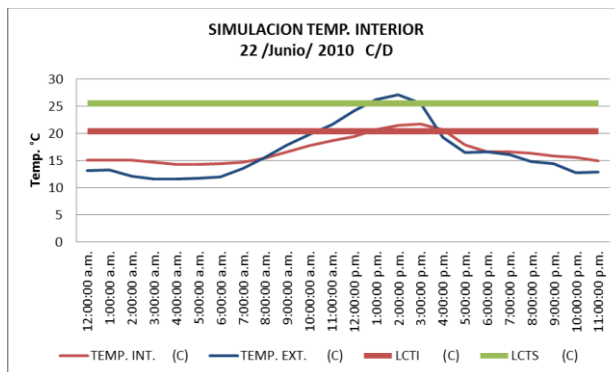


Fig. 225. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

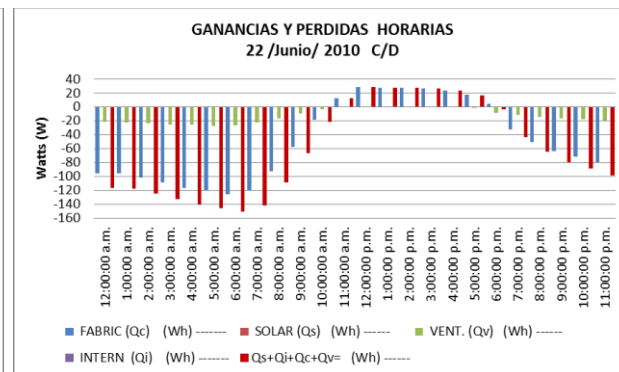


Fig. 226. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

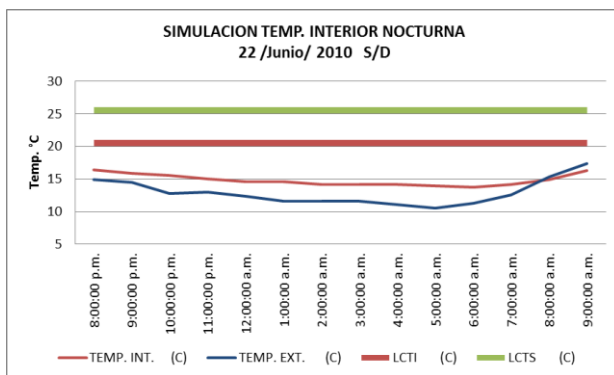


Fig. 227. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

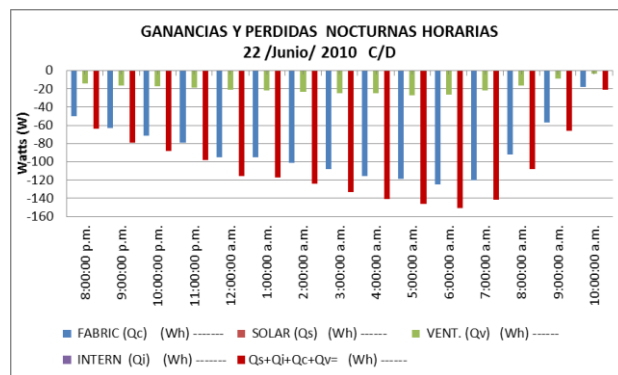


Fig. 228. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo sede al ambiente exterior

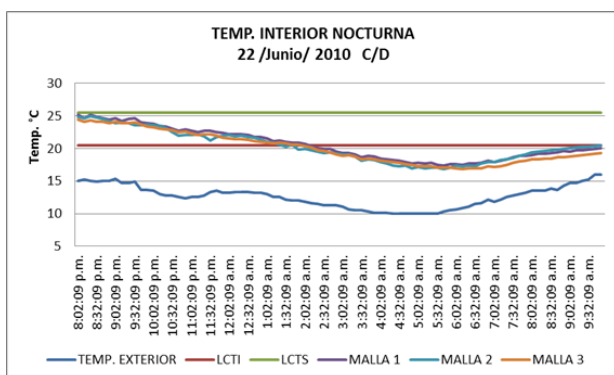


Fig. 229. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

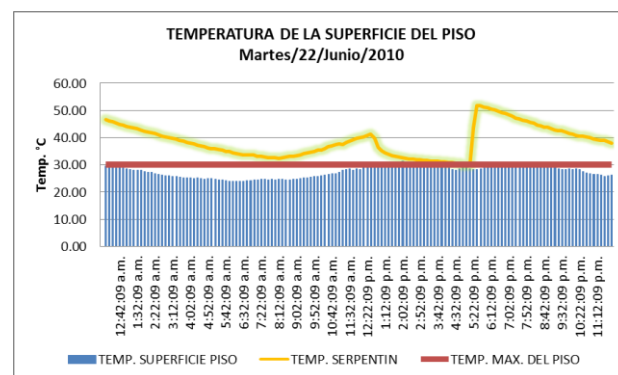


Fig. 230. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

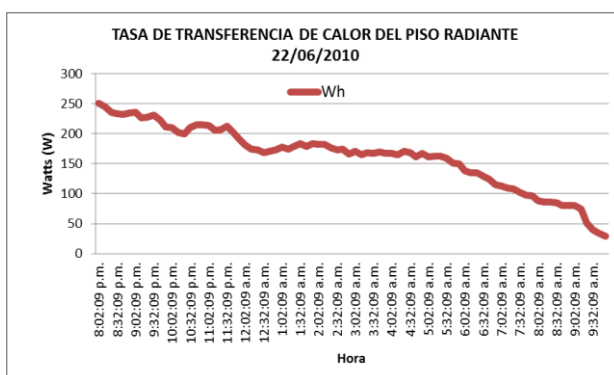


Fig. 231. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 22 de junio del 2010

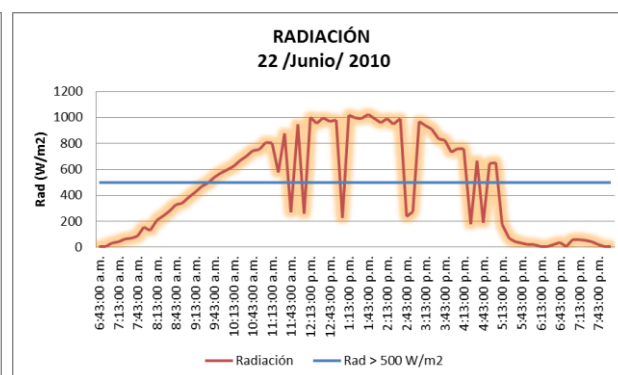


Fig. 232. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 22 de junio del 2010

23 de junio 2010

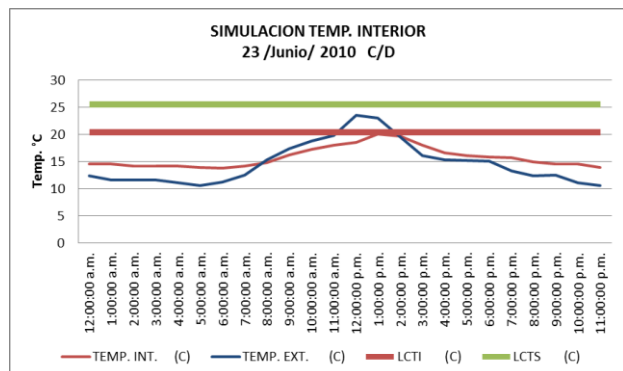


Fig. 233. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

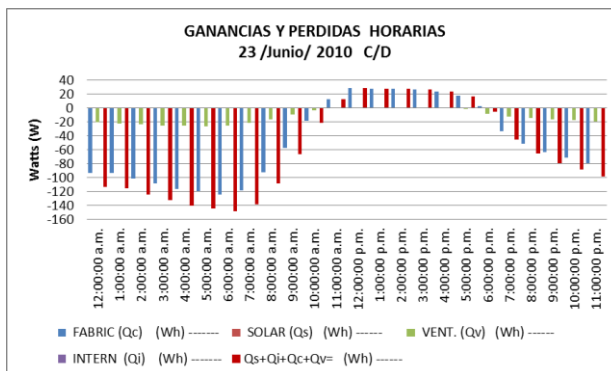


Fig. 234. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

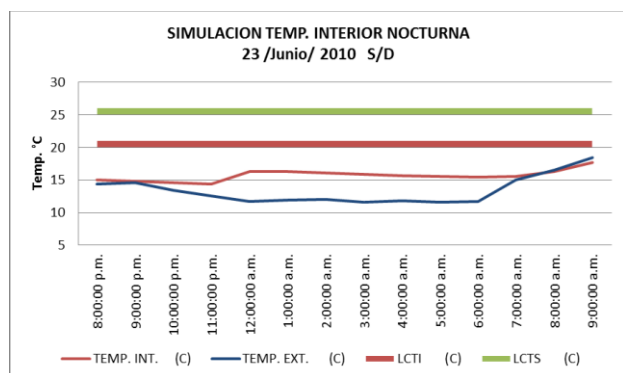


Fig. 235. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

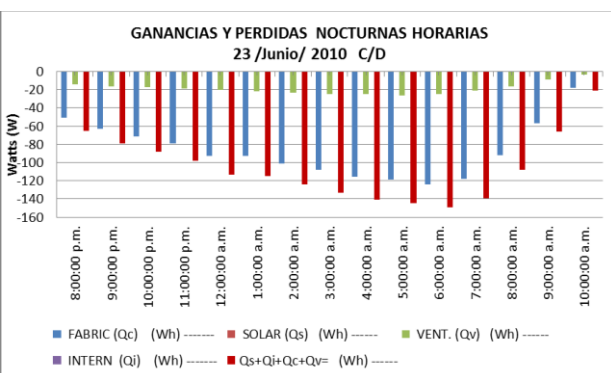


Fig. 236. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

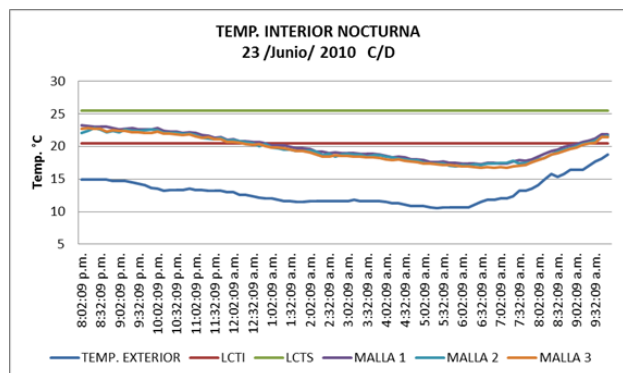


Fig. 237. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

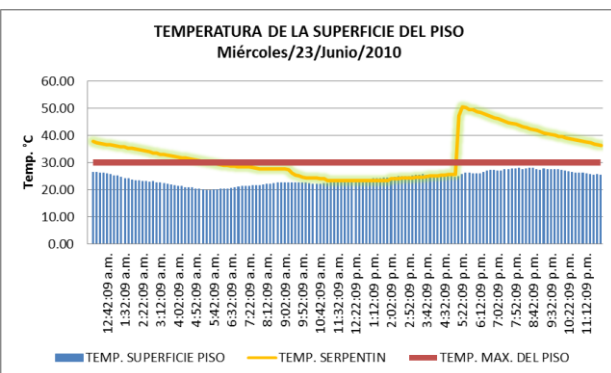


Fig. 238. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

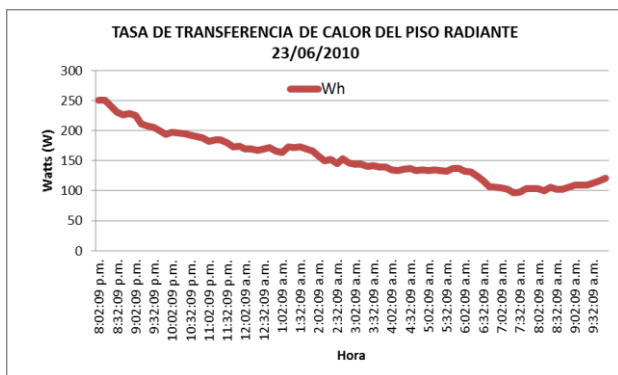


Fig. 239. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo

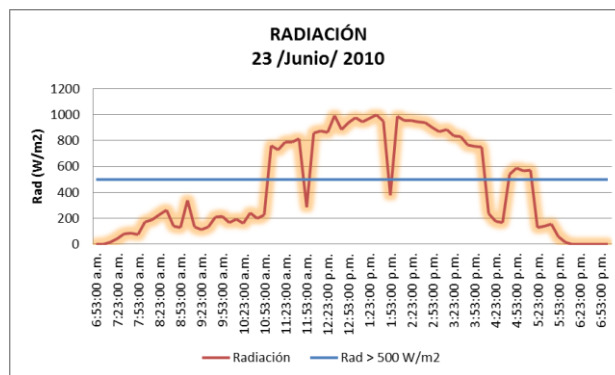


Fig. 240. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 23 de junio del 2010

24 de junio 2010

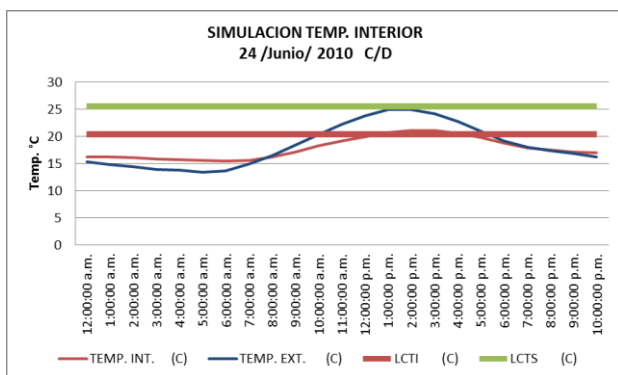


Fig. 241. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

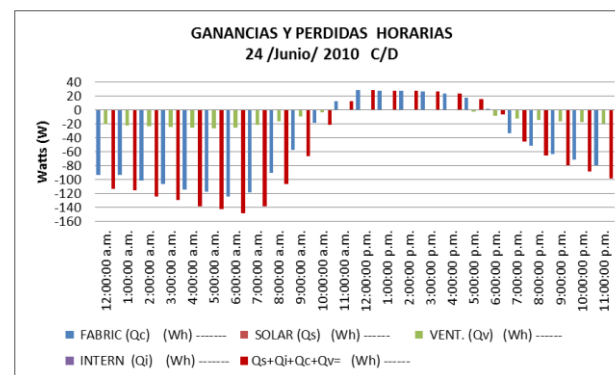


Fig. 242. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

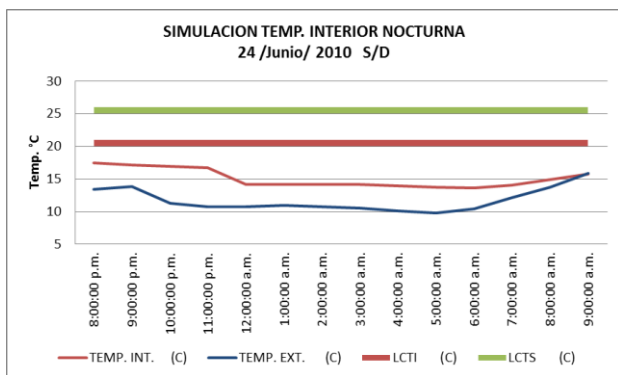


Fig. 243. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

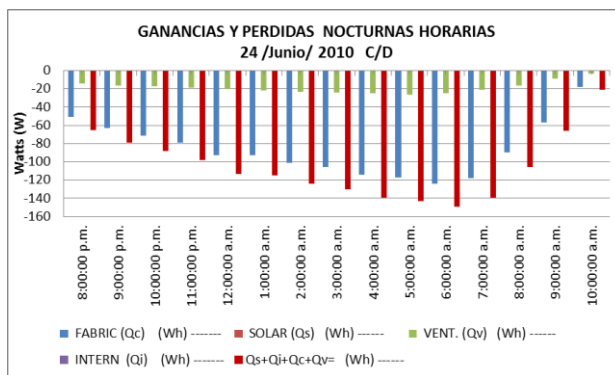


Fig. 244. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

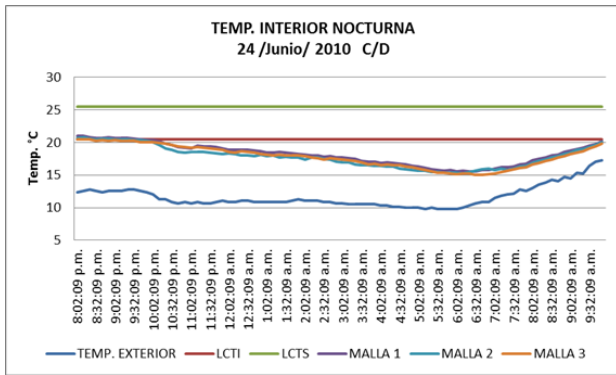


Fig. 245. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

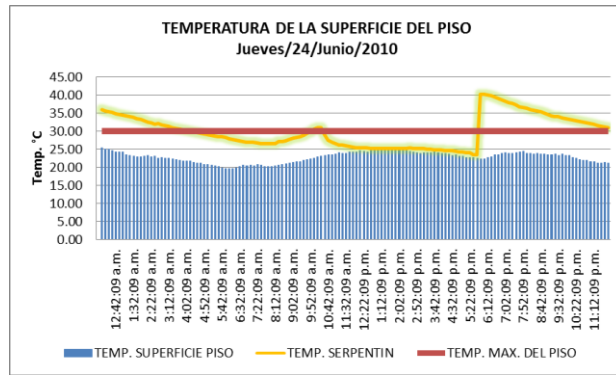


Fig. 246. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

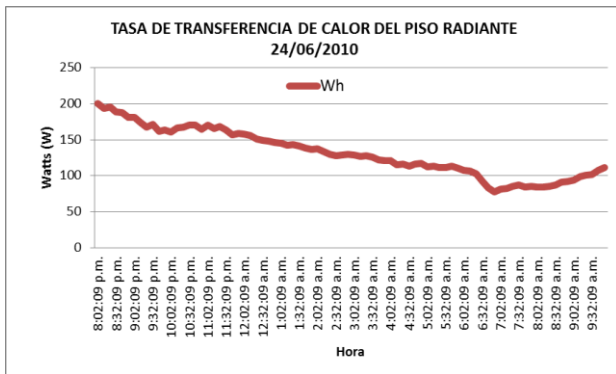


Fig. 247. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo

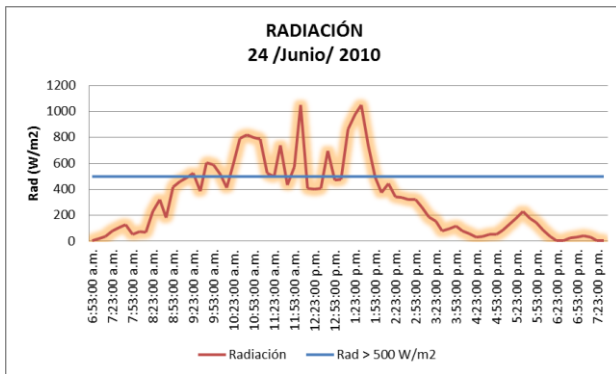


Fig. 248. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 24 de junio del 2010

29 de junio 2010

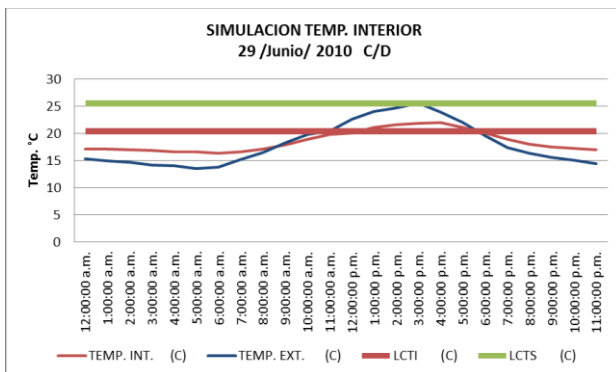


Fig. 249. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

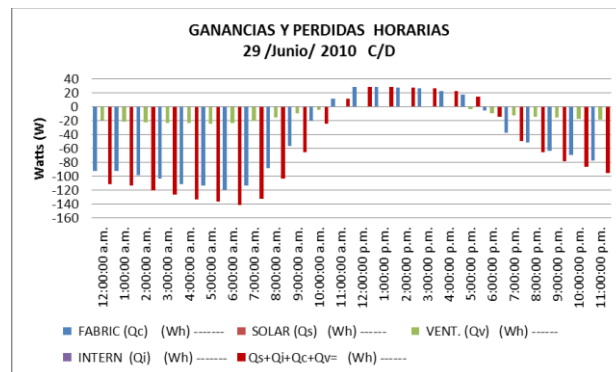


Fig. 250. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

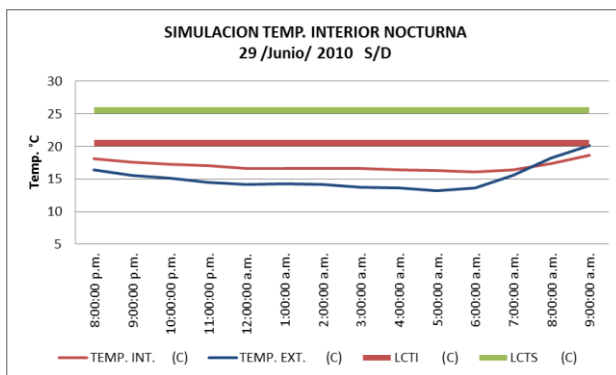


Fig. 251. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

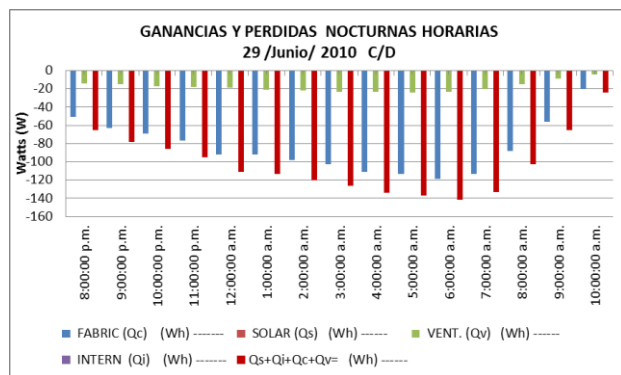


Fig. 252. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

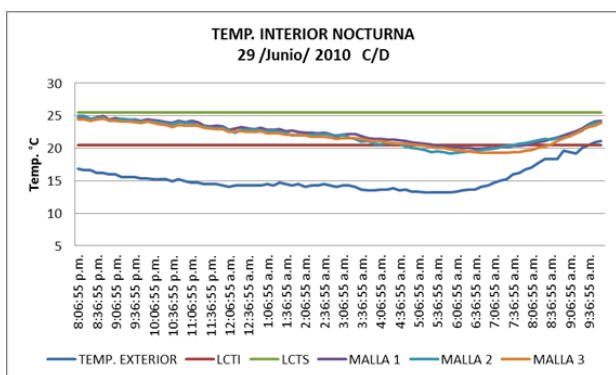


Fig. 253. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

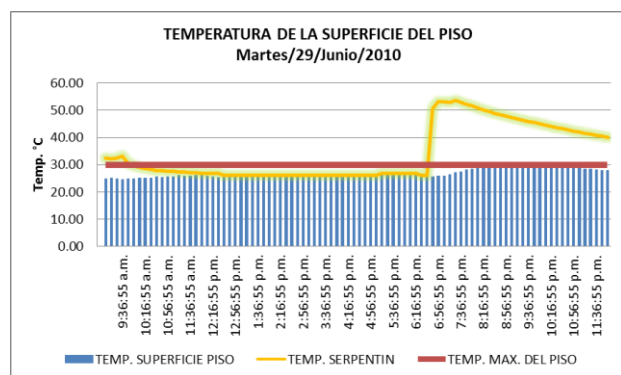


Fig. 254. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

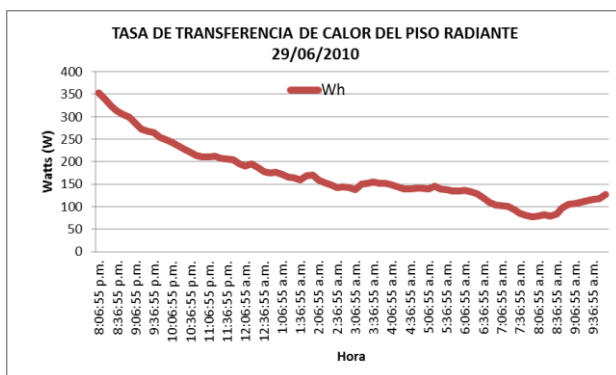


Fig. 255. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo

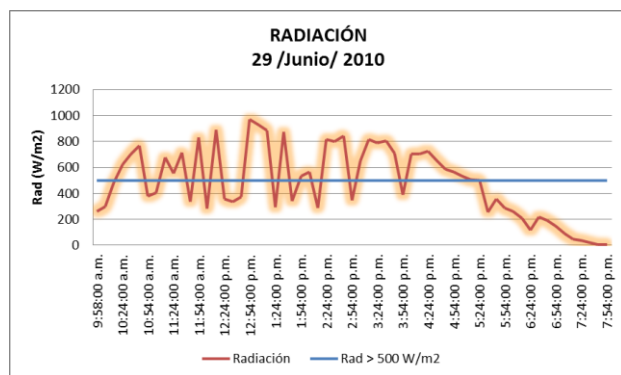


Fig. 256. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 29 de junio del 2010

30 de junio 2010

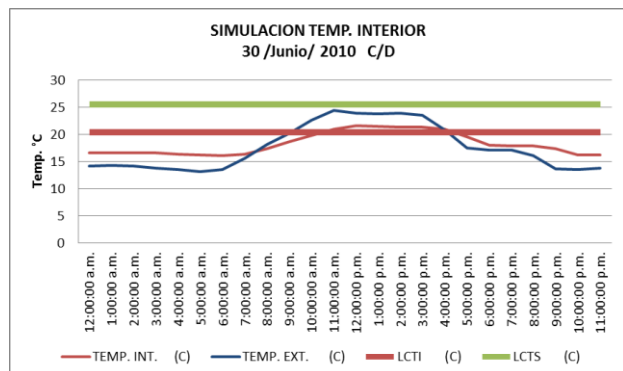


Fig. 257. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

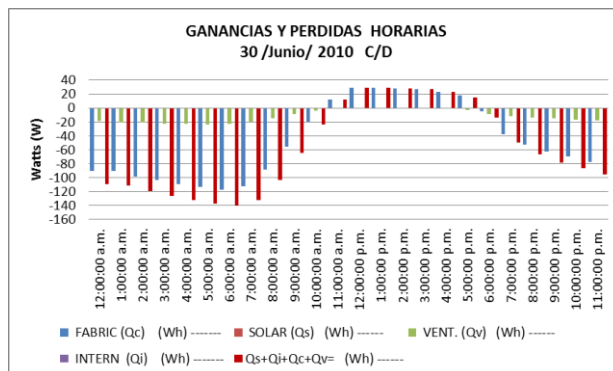


Fig. 258. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

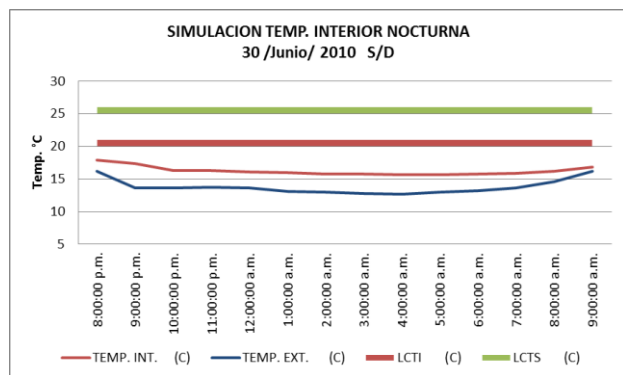


Fig. 259. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

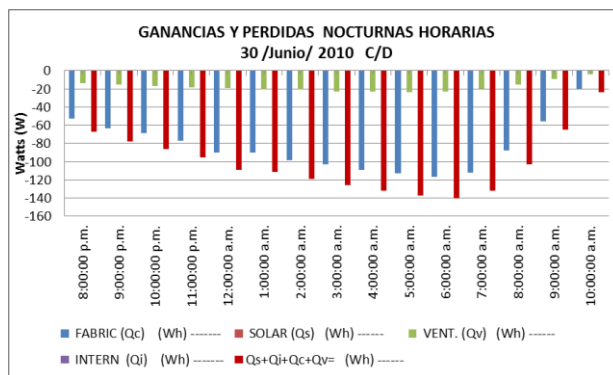


Fig. 260. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

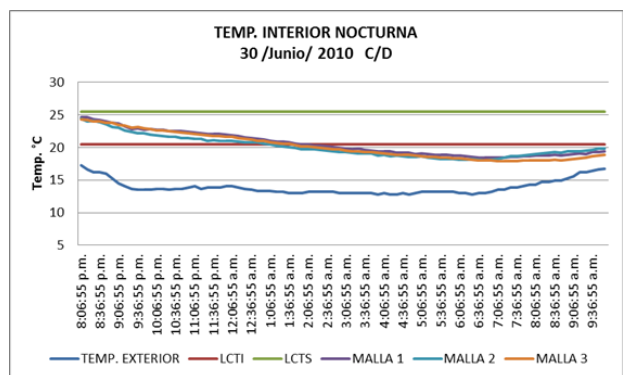


Fig. 261. la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

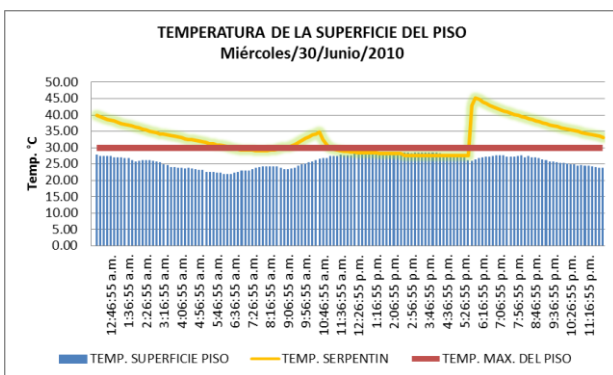


Fig. 262. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

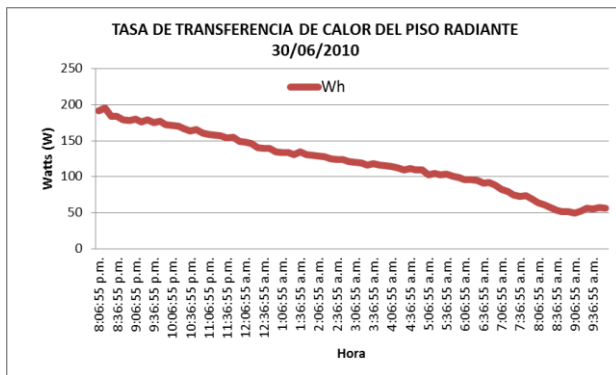


Fig. 263. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 30 de junio del 2010

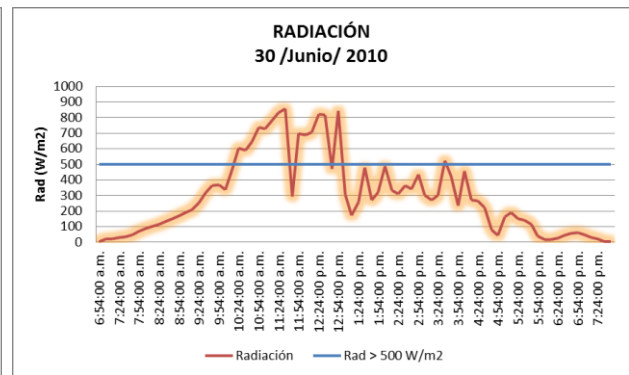


Fig. 264. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 30 de junio del 2010

1 de julio 2010

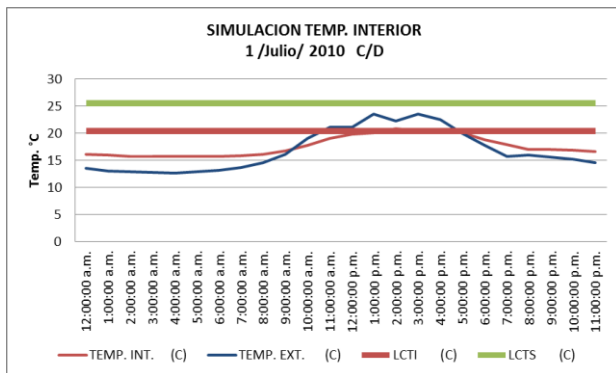


Fig. 265. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

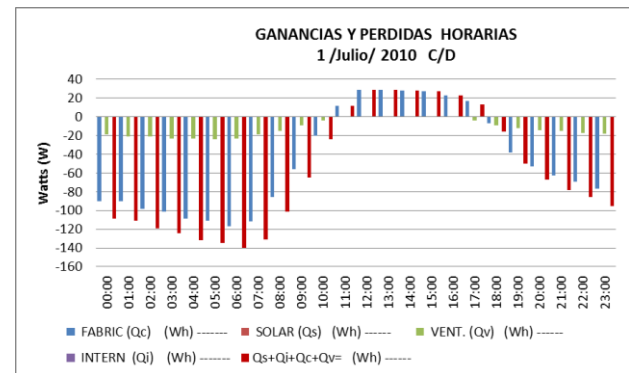


Fig. 266. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

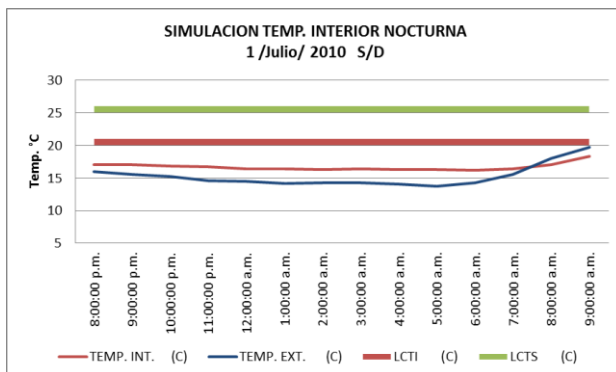


Fig. 267. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

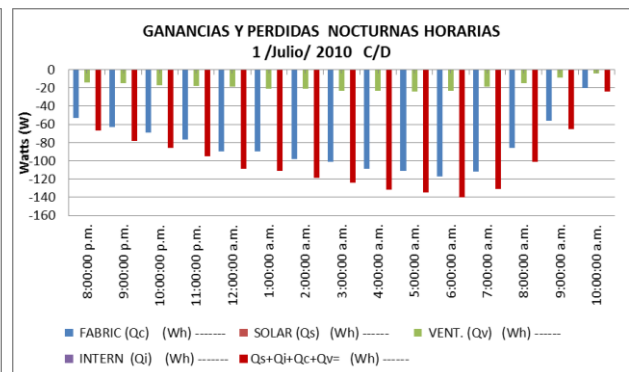


Fig. 268. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

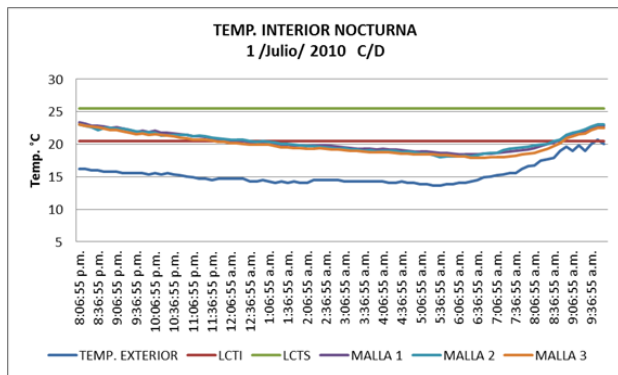


Fig. 269. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

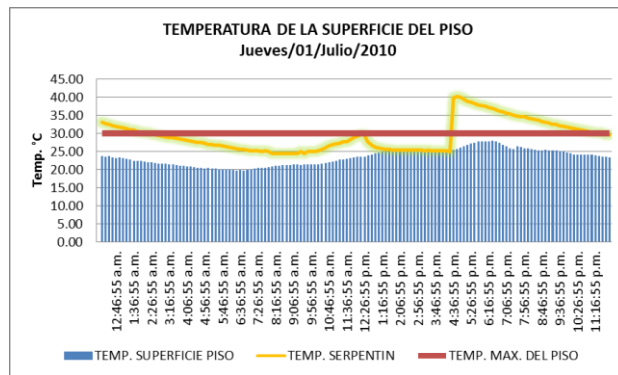


Fig. 270. Imagen que muestra la temperatura del agua interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

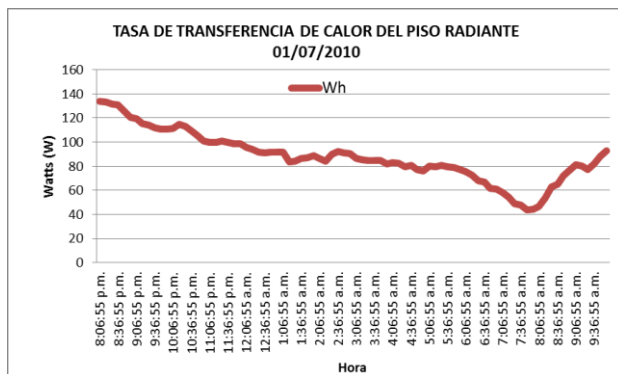


Fig. 271. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 1 de julio del 2010

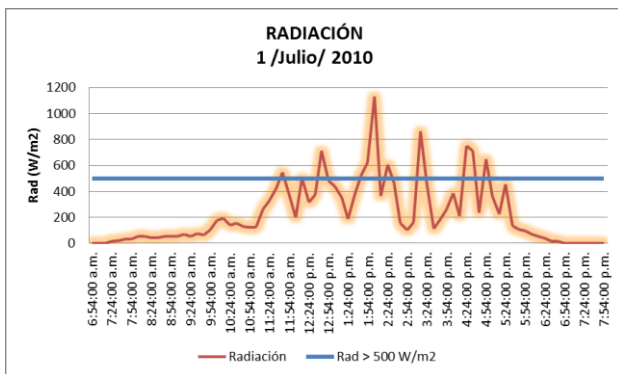


Fig. 272. - Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 1 de julio del 2010

6 de julio 2010

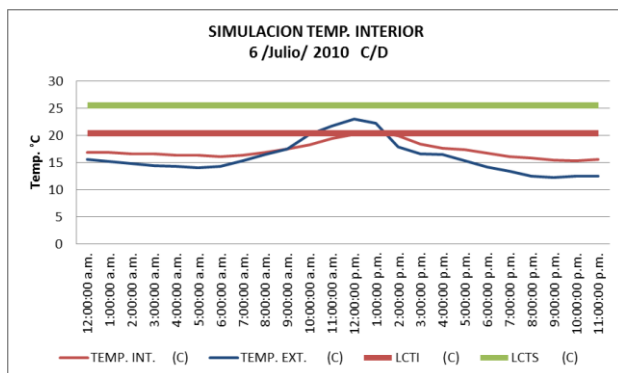


Fig. 273. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo, también se observa la temperatura exterior

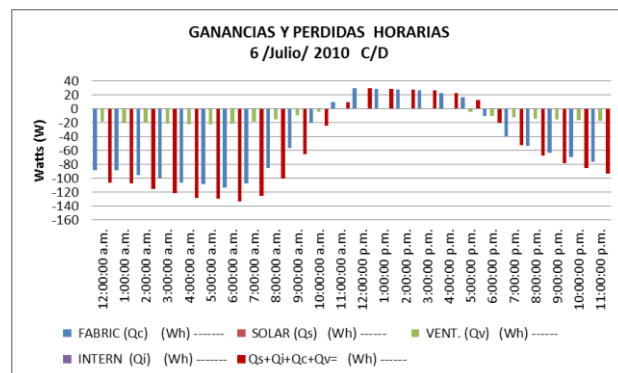


Fig. 274. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

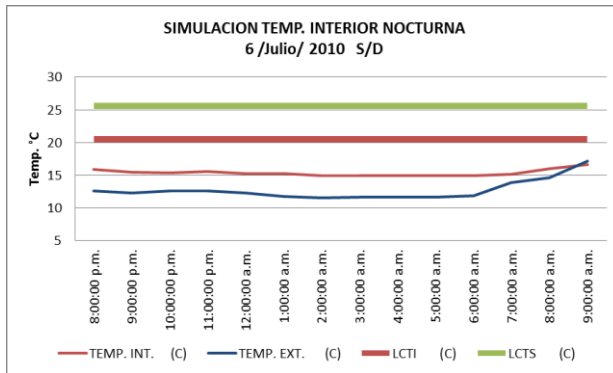


Fig. 275. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo de 8:00 pm a 9:00 am

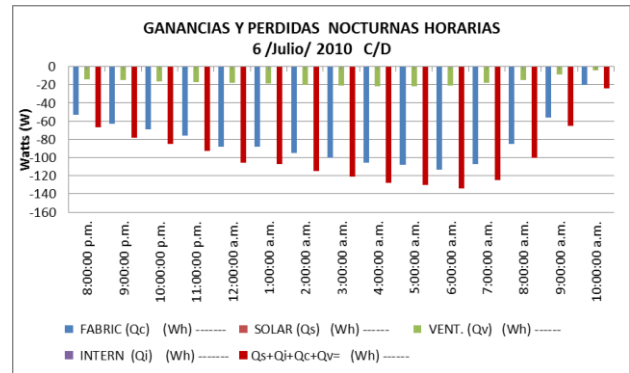


Fig. 276. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

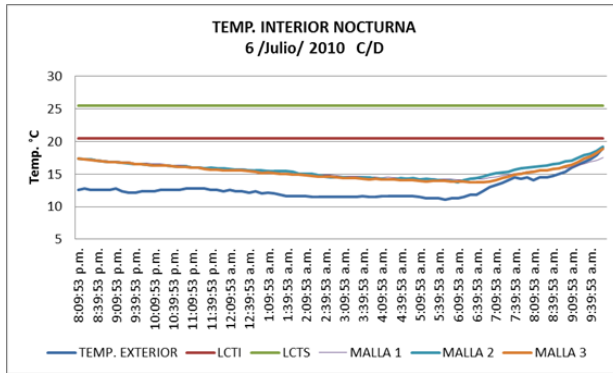


Fig. 277. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

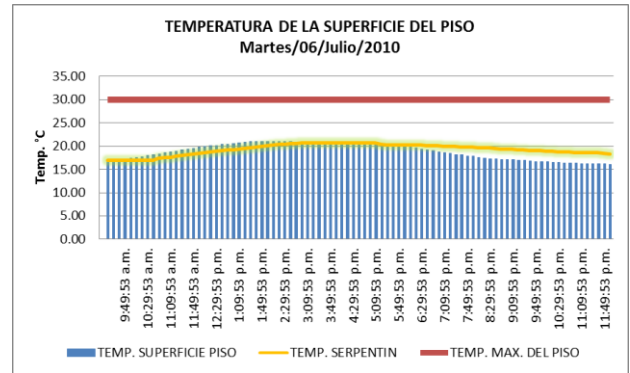


Fig. 278. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

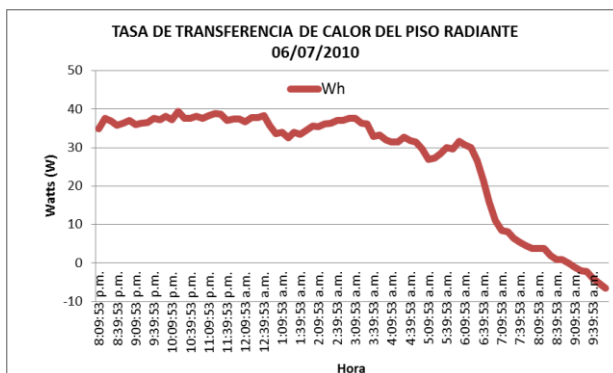


Fig. 279. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo para el día 6 de julio del 2010

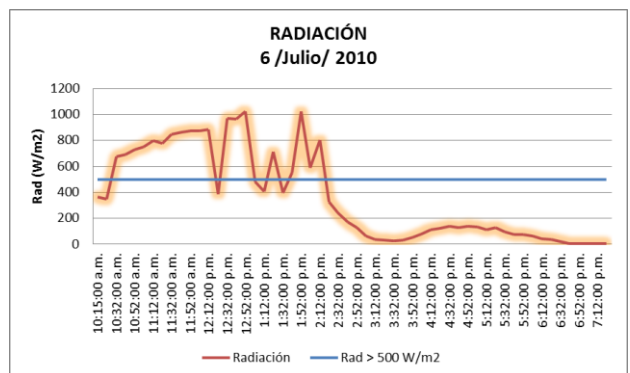


Fig. 280. - Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 6 de julio del 2010

El análisis de los resultados obtenidos mediante el trabajo experimental, en el cual se monitoreo el comportamiento térmico del modelo del sistema de calefacción hidrónico solar de piso radiante y la obtención de información mediante la simulación del comportamiento térmico al interior de un espacio, permitió llegar a diversas consideraciones.

En primer lugar, las temperaturas interiores de la simulación térmica del módulo y las temperaturas del módulo real sin aporte de energía del piso radiante son similares, con una diferencia mínima de 1 °C a 2 °C máximo en algunas horas de la noche. En la mayoría de las horas las temperaturas coinciden, esto da un parámetro de la exactitud de la simulación térmica que se realizó al módulo, y permite establecerla como un punto de comparación veras, lo cual indica que la simulación térmica es una herramienta eficiente para conocer las condiciones térmicas de un espacio en un momento determinado. En este caso sirvió para evaluar el sistema de piso radiante hidrónico solar.

En cuanto al primer periodo de pruebas realizado al módulo experimental habilitado con un sistema de piso radiante hidrónico solar del 19 de mayo al 7 de julio de 2010, durante un horario de 8:00 pm a 9:00 am, se encontró que la temperatura del espacio interior oscilaba en un rango de 18°C a 25 °C a la altura de los ocupantes, la cual es considerada una temperatura óptima para el confort, asimismo la temperatura de la superficie del piso no excedió los 30 °C en la mayoría de los casos.

11.2 ANEXOS II

11.2.1 Análisis térmico del segundo periodo de evaluación comprendido del 11 de diciembre al 14 de febrero del 2011

A continuación se muestra el análisis del segundo periodo de evaluaciones realizadas al módulo experimental, este fue realizado durante la época invernal en la ciudad de México y correspondió del 11 de diciembre del 2010 al 14 de febrero del 2011. Se realizaron mediciones de temperatura al módulo con el piso radiante en funcionamiento, esta vez el periodo de monitoreo comprendió el día y la noche.

11 de diciembre 2010

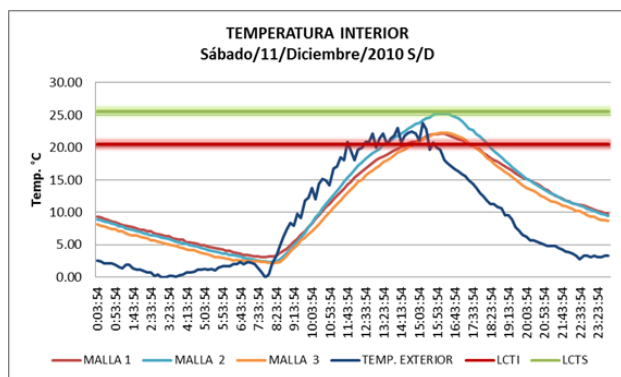


Fig. 281. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

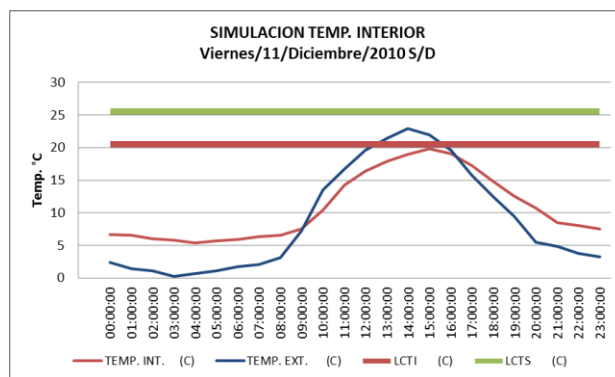


Fig. 282. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

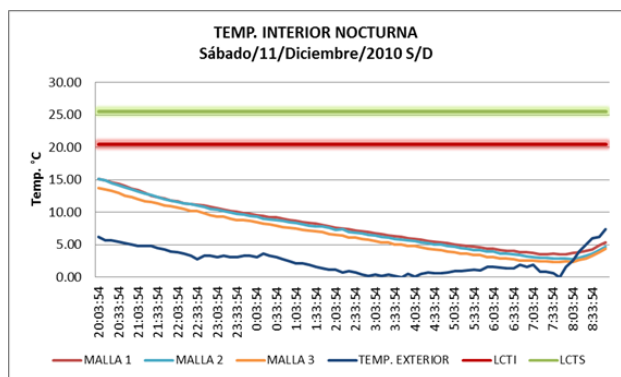


Fig. 283. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

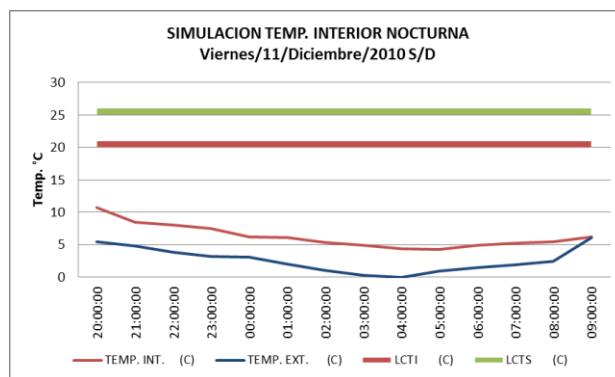


Fig. 284. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

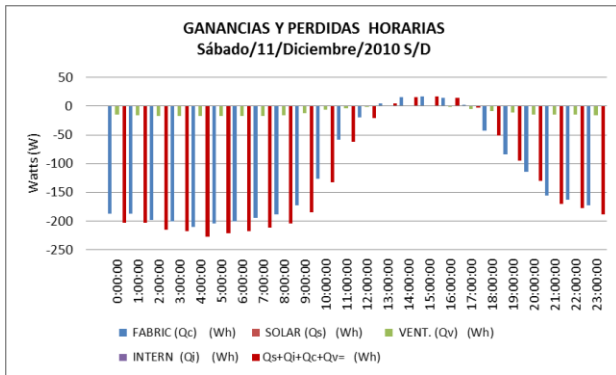


Fig. 285. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

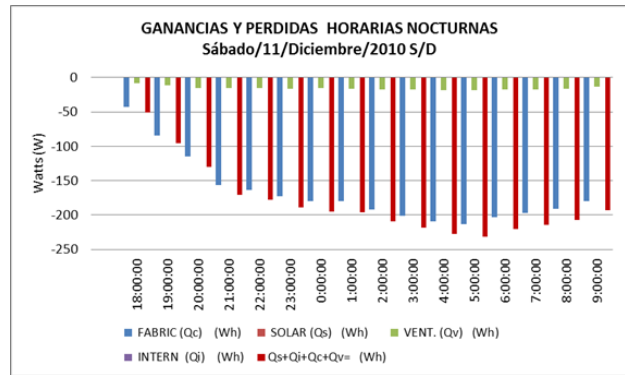


Fig. 286. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

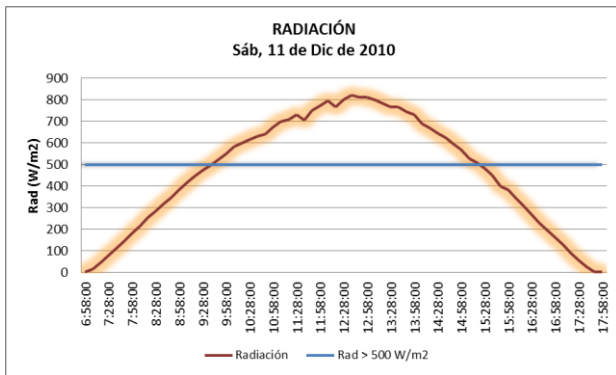


Fig. 287. Muestra la intensidad la radiación solar incidente del día 11 diciembre del 2010

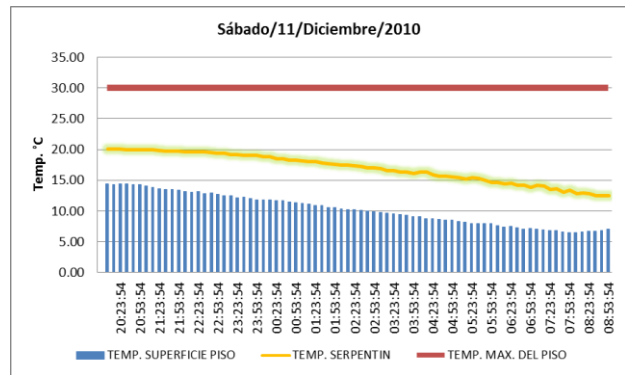


Fig. 288. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

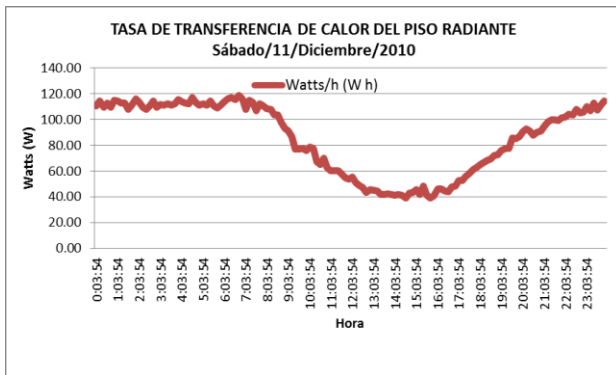


Fig. 289. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

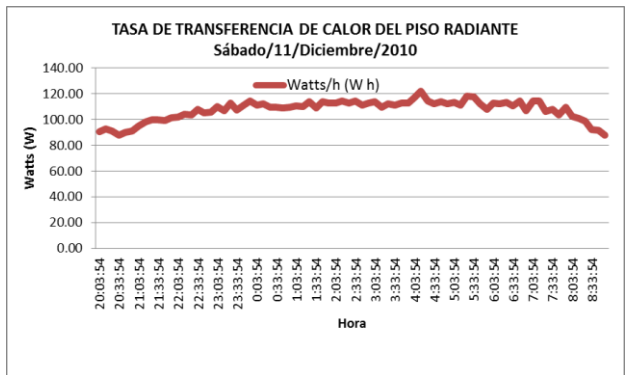


Fig. 290. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas.

12 de diciembre 2010

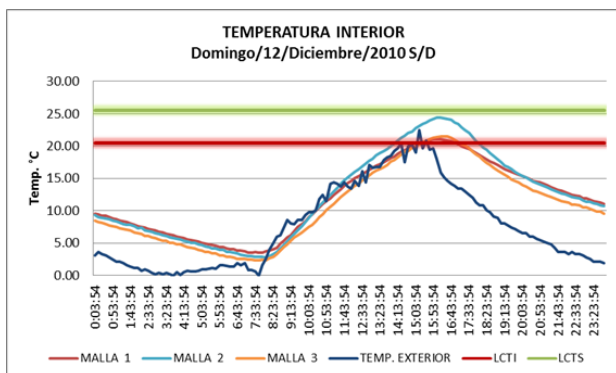


Fig. 291. Imagen que muestra de la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

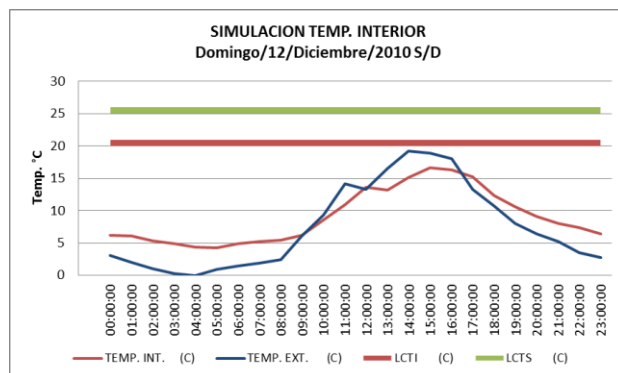


Fig. 292. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

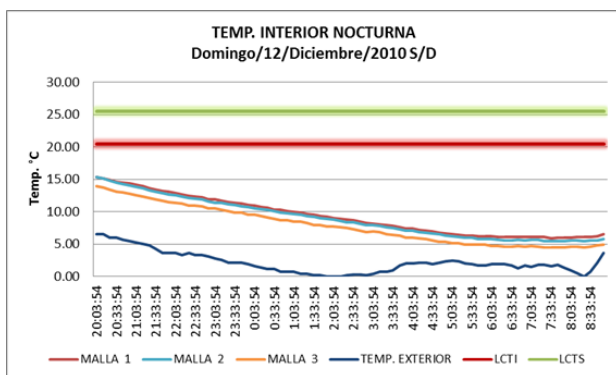


Fig. 293. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

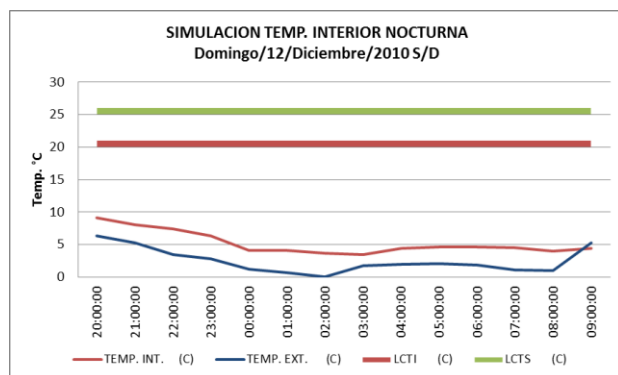


Fig. 294. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

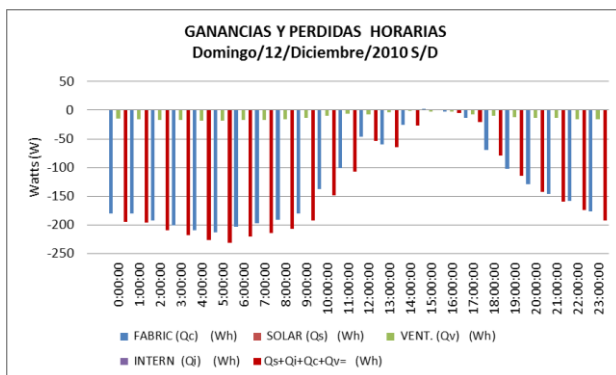


Fig. 295. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

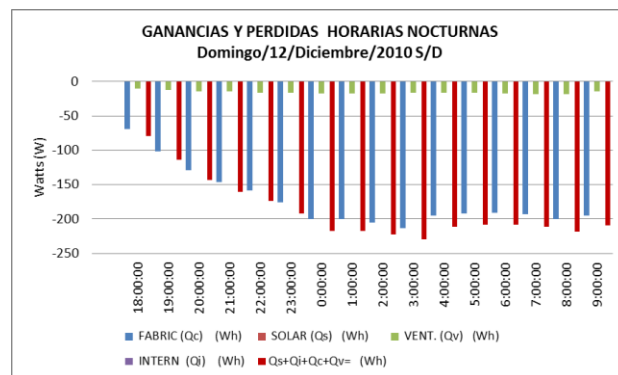


Fig. 296. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

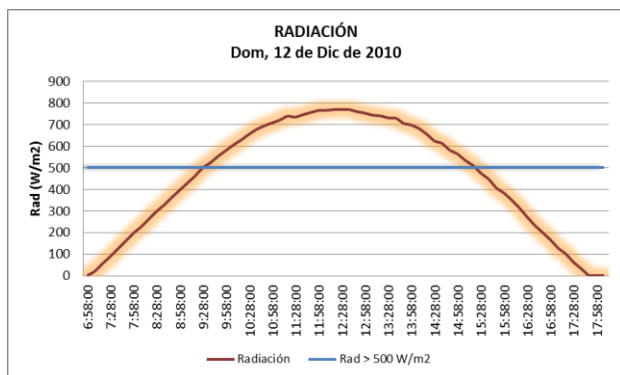


Fig. 297. Muestra la intensidad la radiación solar incidente del día 12 de diciembre del 2010

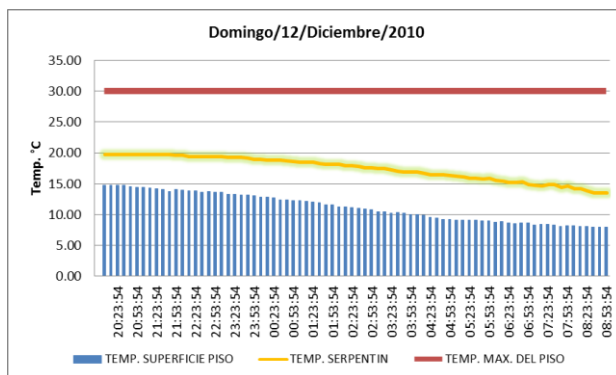


Fig. 298. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

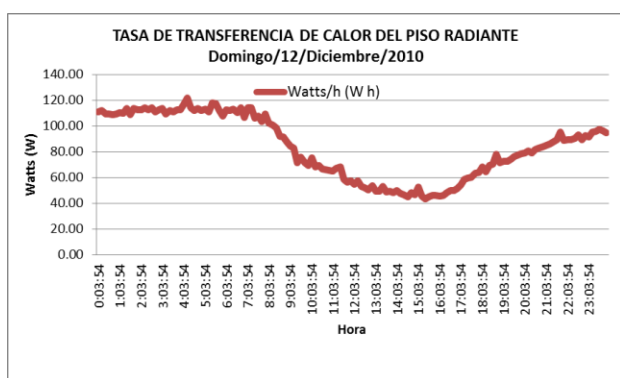


Fig. 299. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

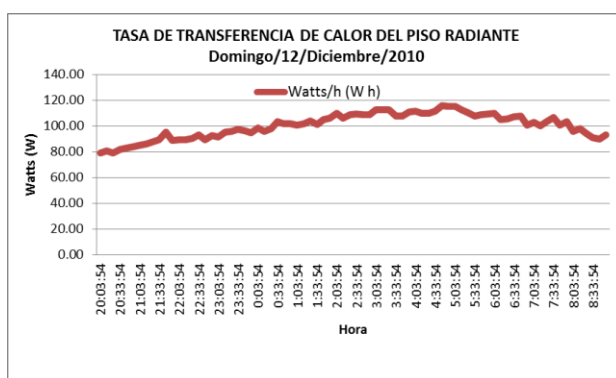


Fig. 300. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

13 de diciembre 2010

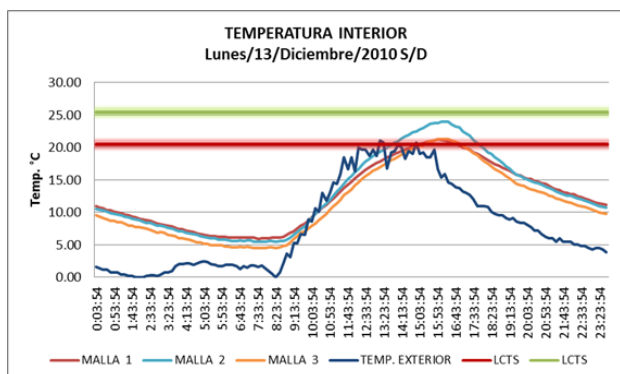


Fig. 301. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

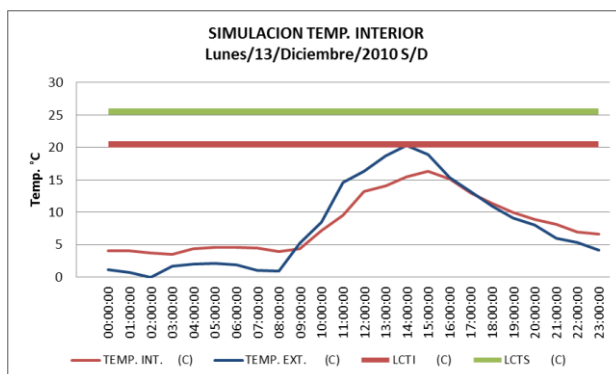


Fig. 302. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

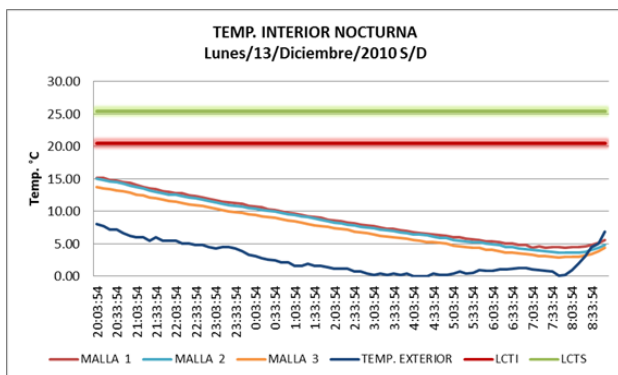


Fig. 303. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

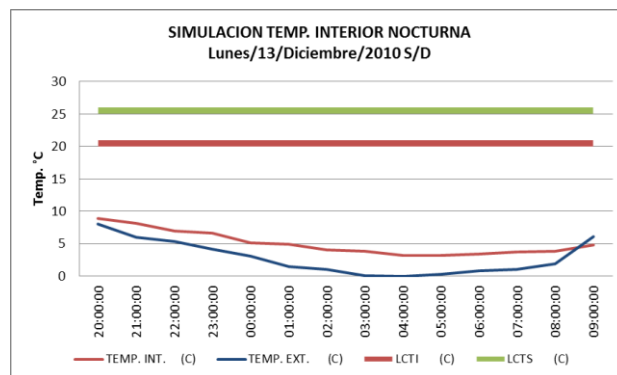


Fig. 304. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

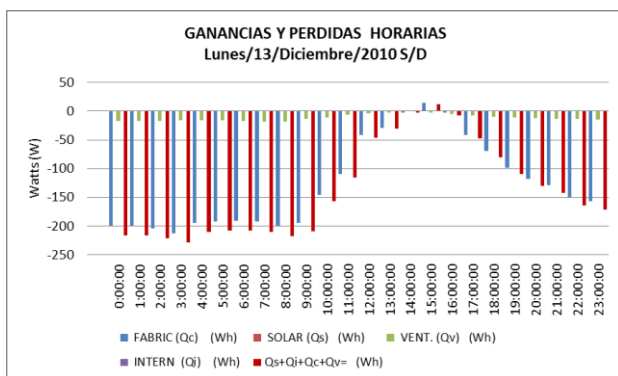


Fig. 305. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

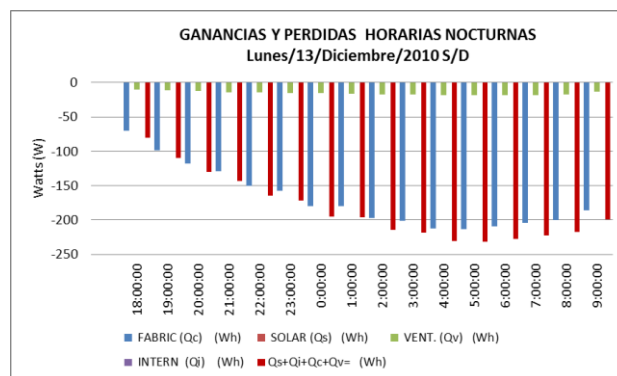


Fig. 306. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

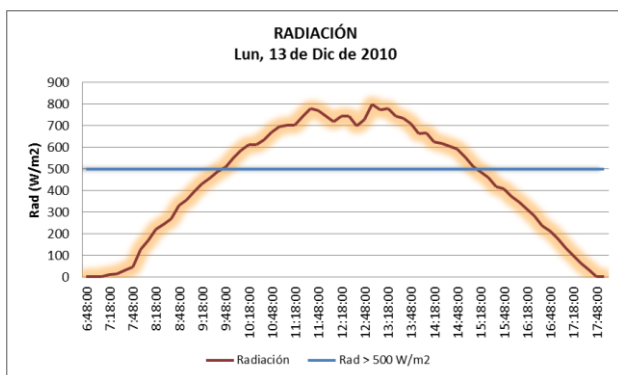


Fig. 307. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 13 de diciembre del 2010

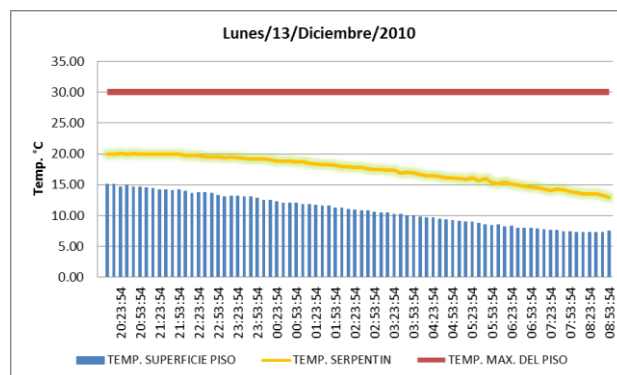


Fig. 308. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

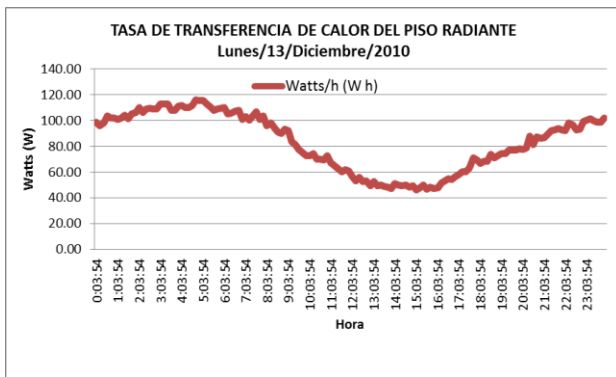


Fig. 309. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

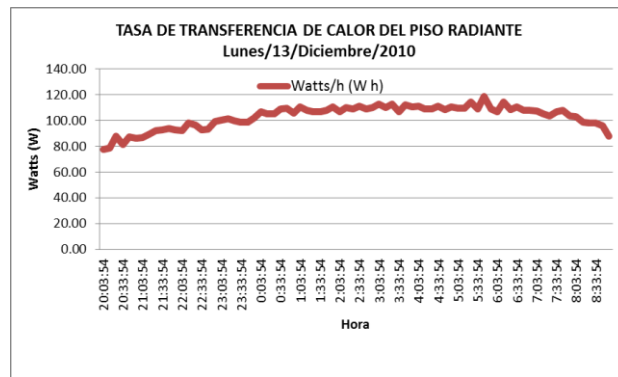


Fig. 310. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

14 de diciembre 2010

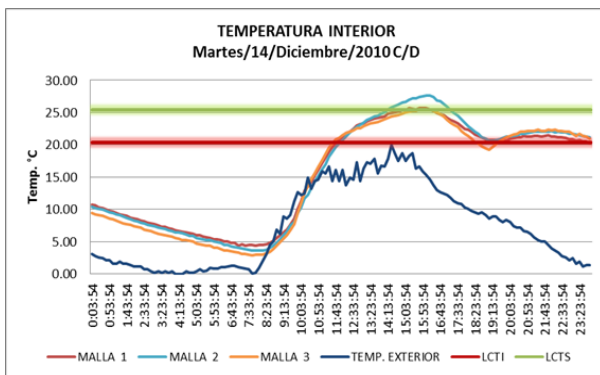


Fig. 311. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

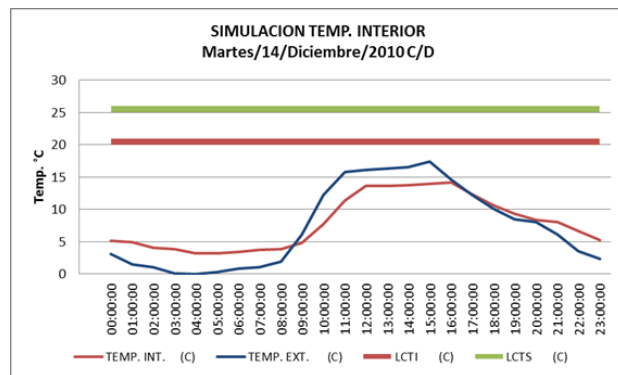


Fig. 312. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

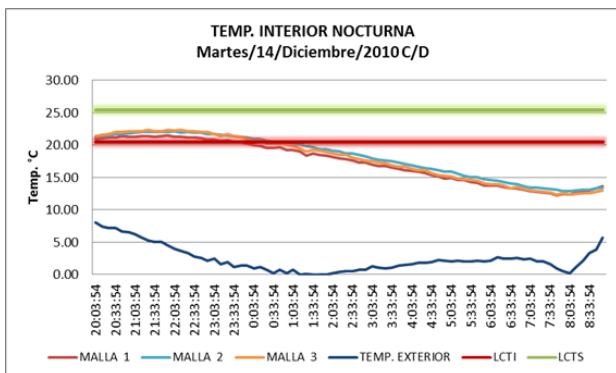


Fig. 313. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

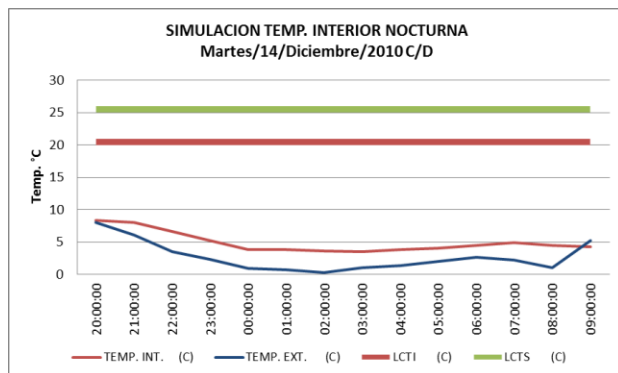


Fig. 314. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

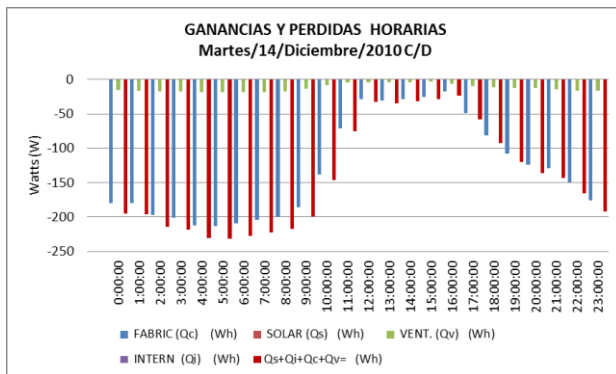


Fig. 315. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

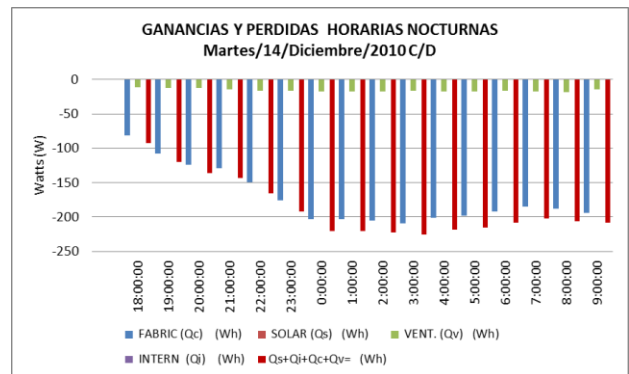


Fig. 316. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

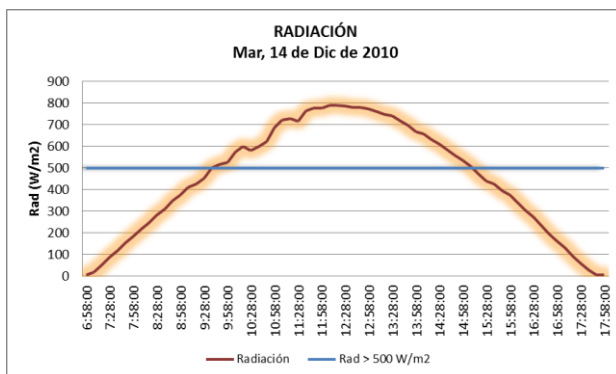


Fig. 317. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 14 de diciembre del 2010

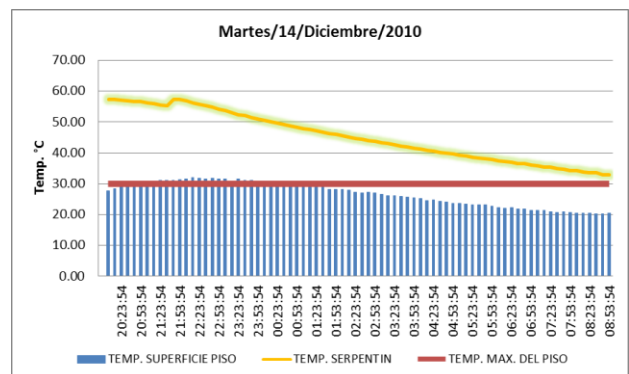


Fig. 318. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

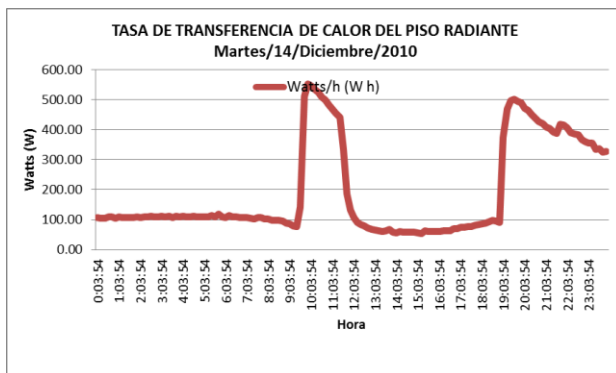


Fig. 319. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

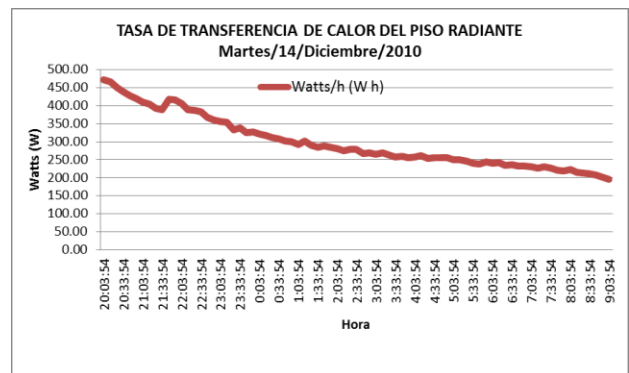


Fig. 320. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

15 de diciembre 2010

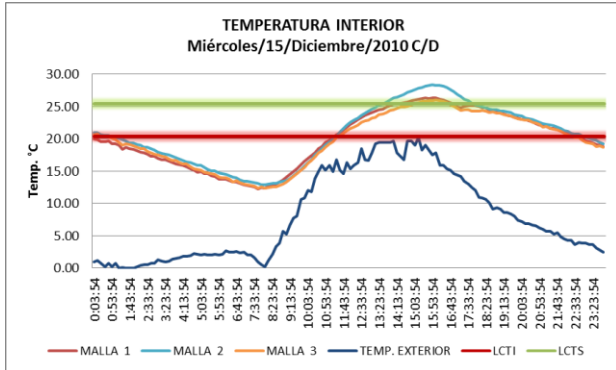


Fig. 321. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

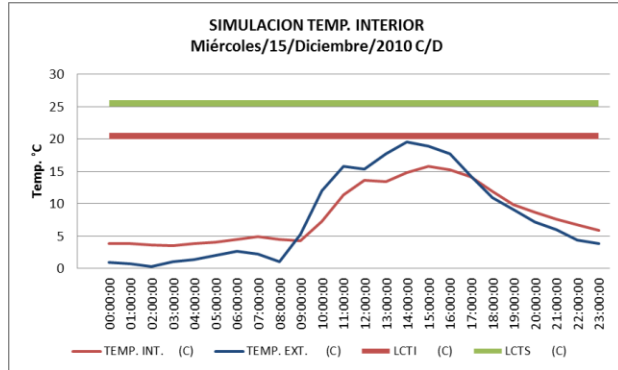


Fig. 322. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

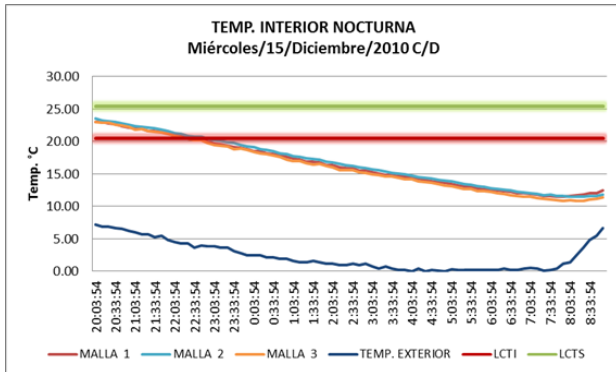


Fig. 323. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

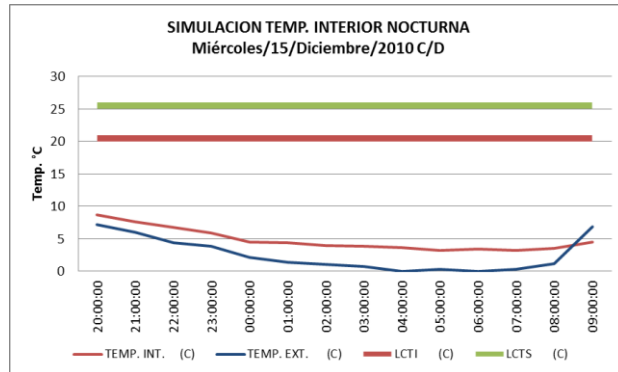


Fig. 324. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

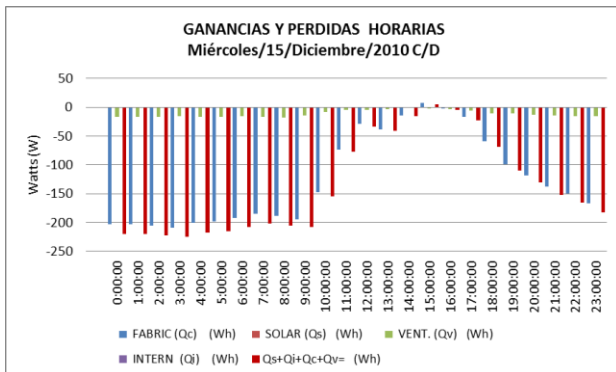


Fig. 325. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

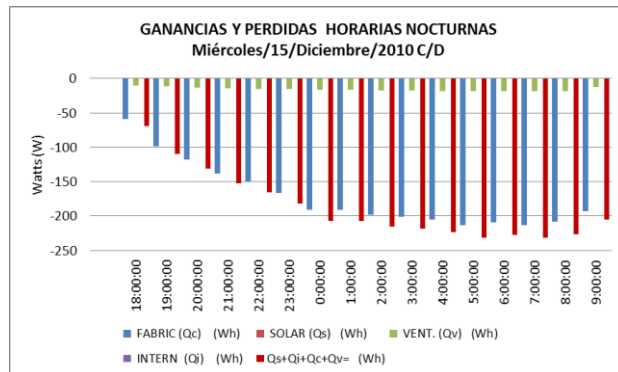


Fig. 326. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

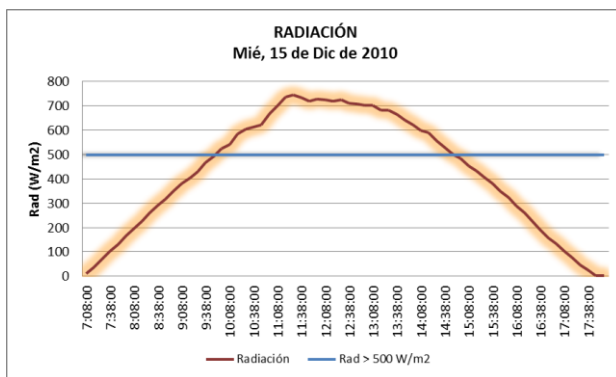


Fig. 327. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 15 de diciembre del 2010

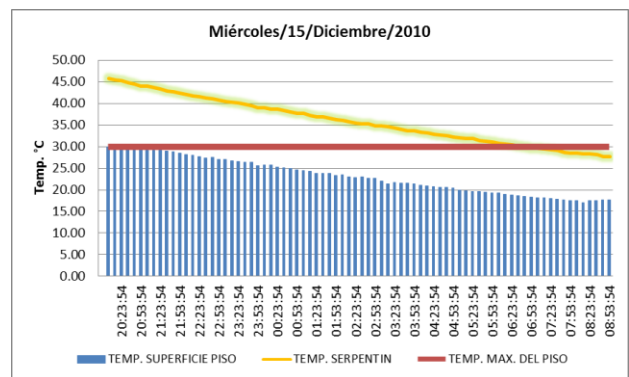


Fig. 328. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

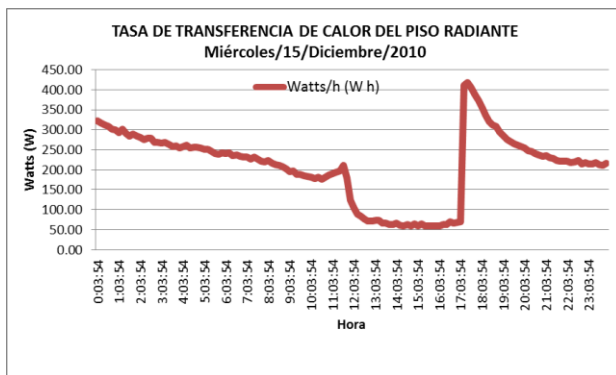


Fig. 329. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

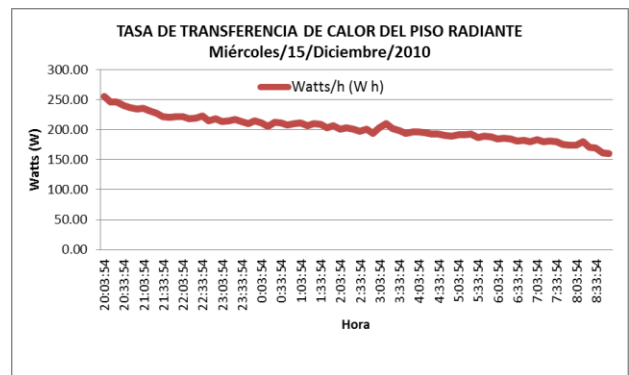


Fig. 330. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

17 de diciembre 2010

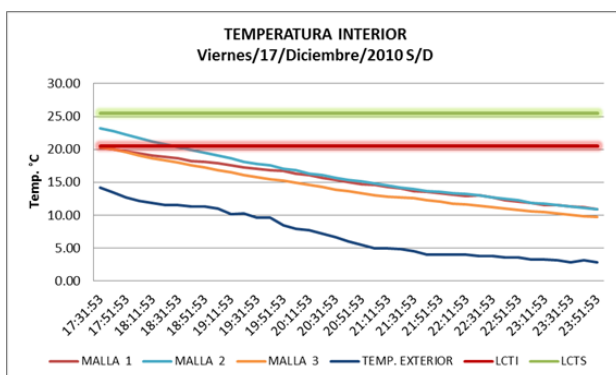


Fig. 331. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

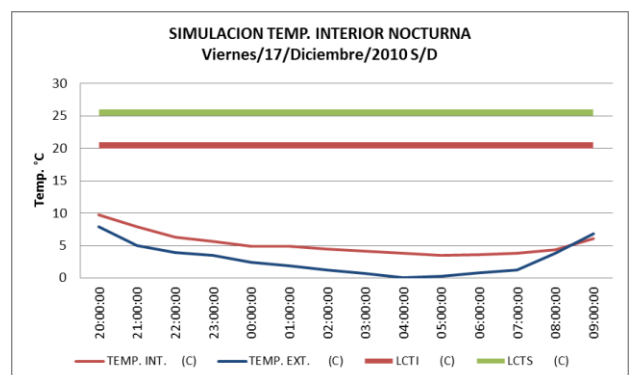


Fig. 332. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

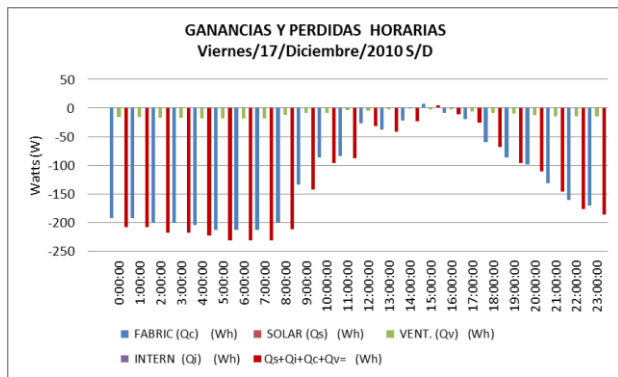


Fig. 333. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

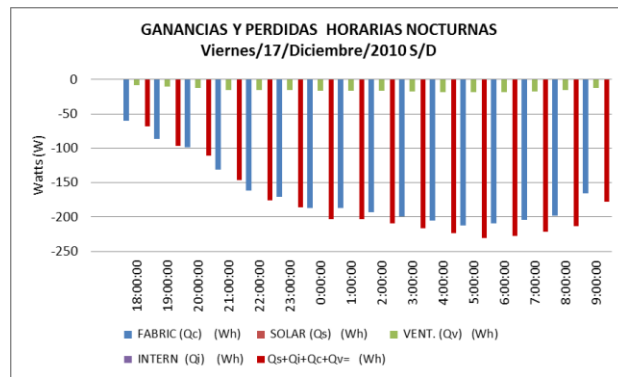


Fig. 334. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

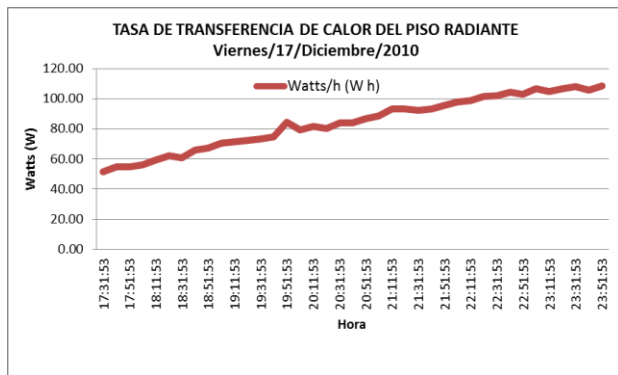


Fig. 335. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

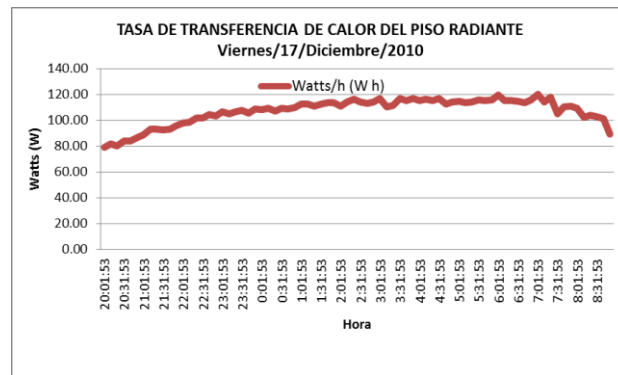


Fig. 336. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

18 de diciembre 2010

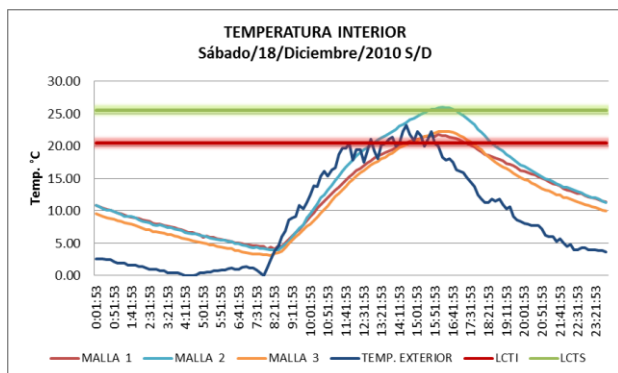


Fig. 337. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

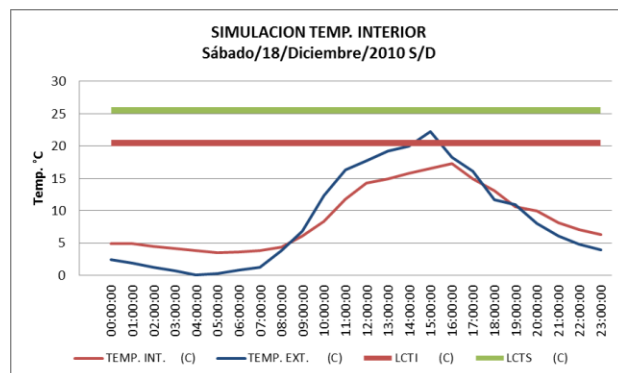


Fig. 338. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

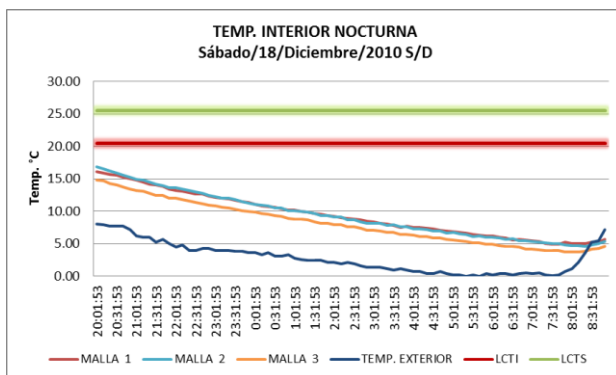


Fig. 339. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

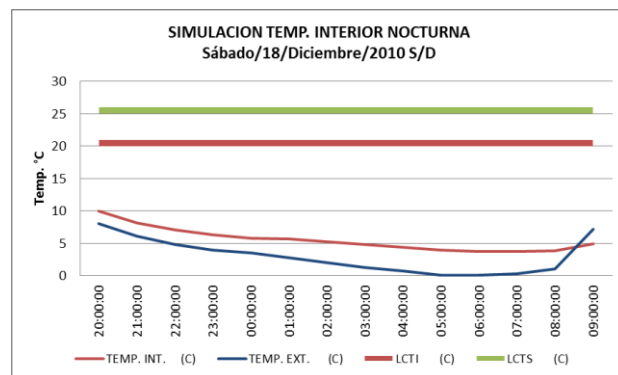


Fig. 340. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

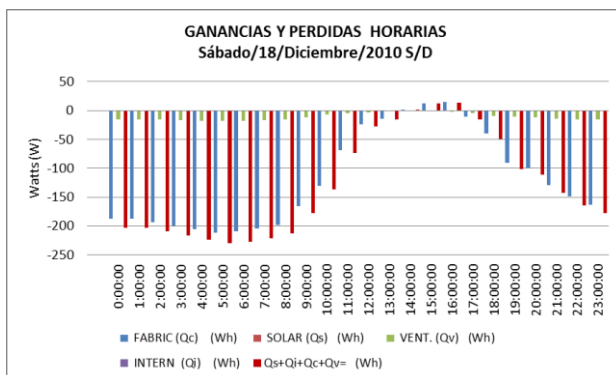


Fig. 341. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

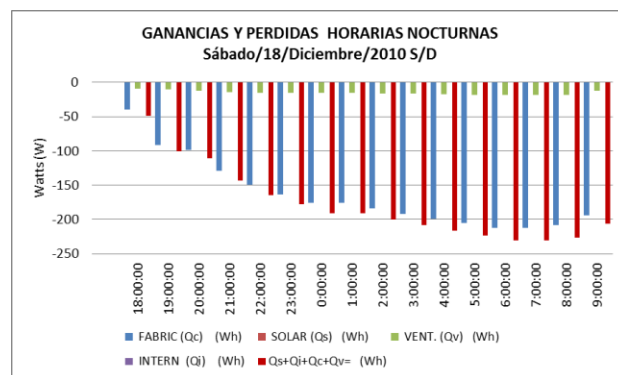


Fig. 342. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

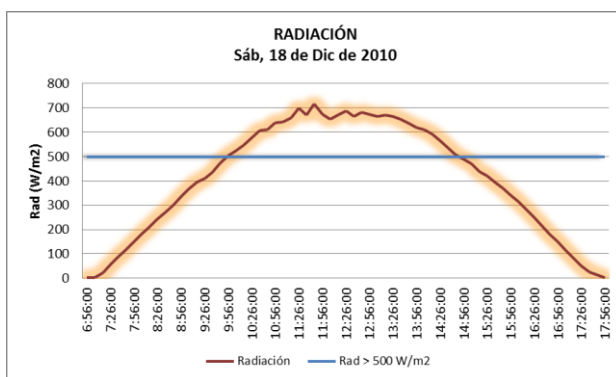


Fig. 343. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 18 de diciembre del 2010

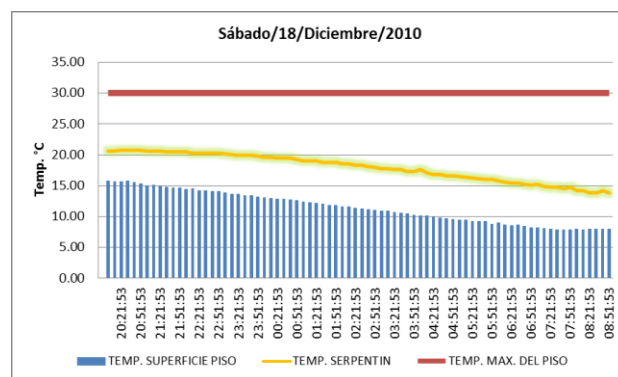


Fig. 344. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

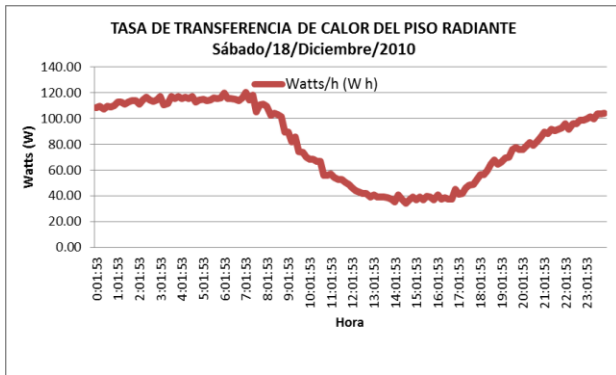


Fig. 345. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

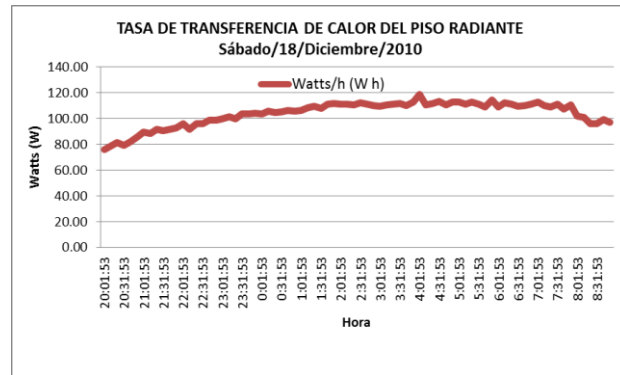


Fig. 346. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

19 de diciembre 2010

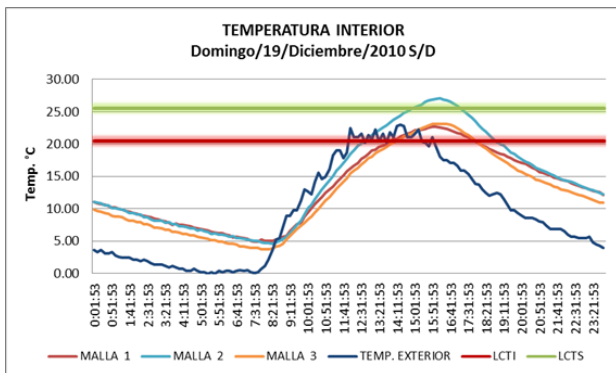


Fig. 347. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

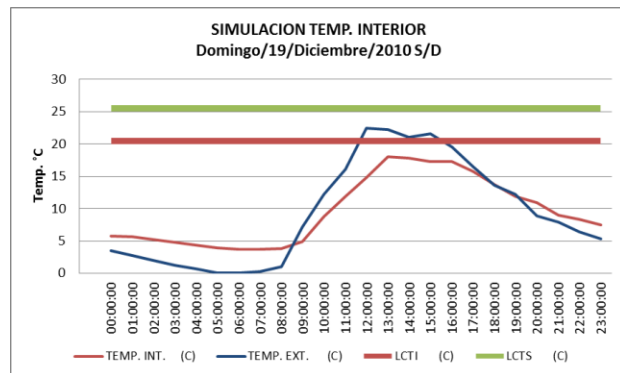


Fig. 348. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

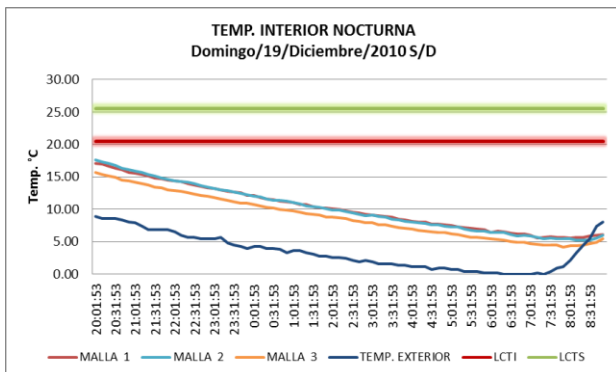


Fig. 349. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

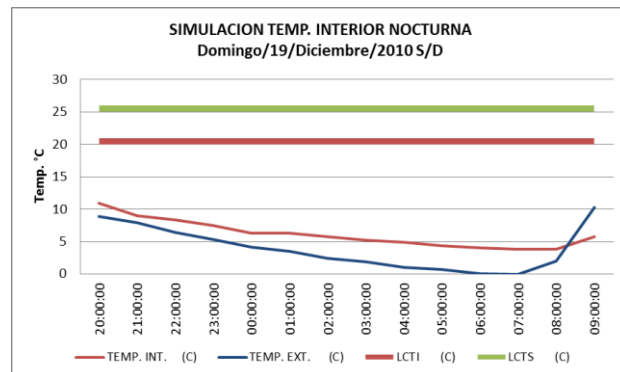


Fig. 350. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

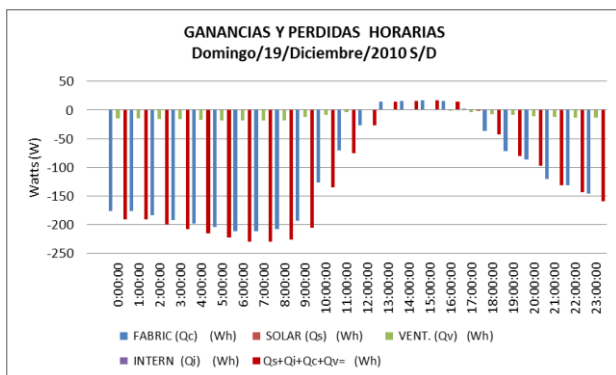


Fig. 351. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

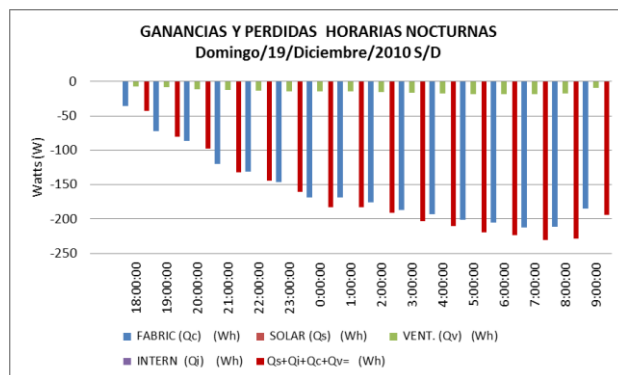


Fig. 352. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

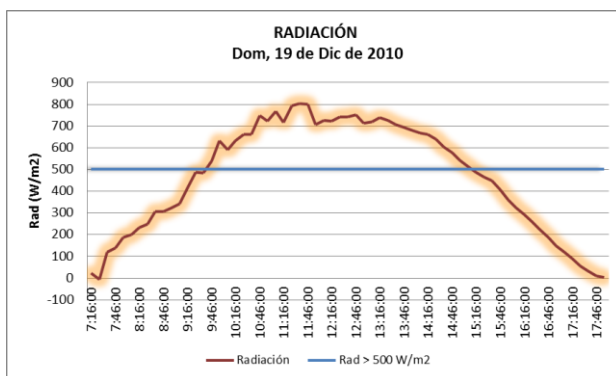


Fig. 353. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 19 de diciembre del 2010

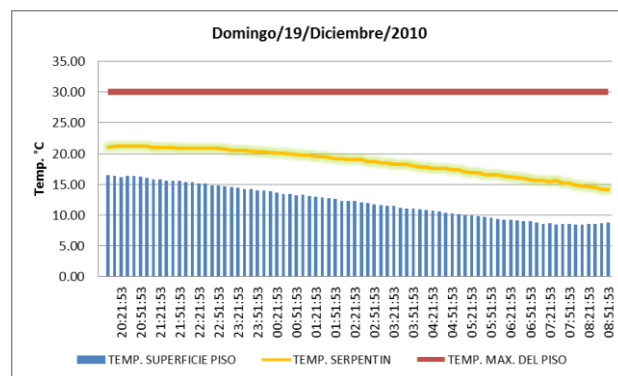


Fig. 354. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

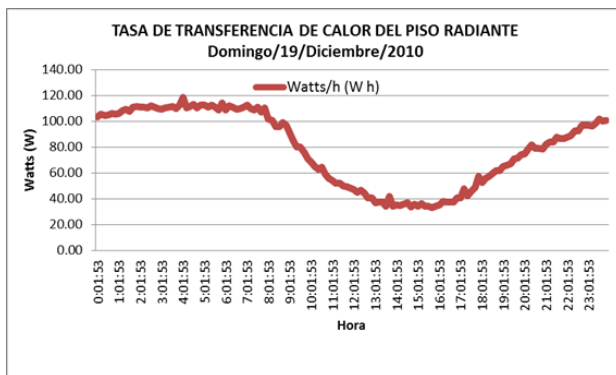


Fig. 355. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

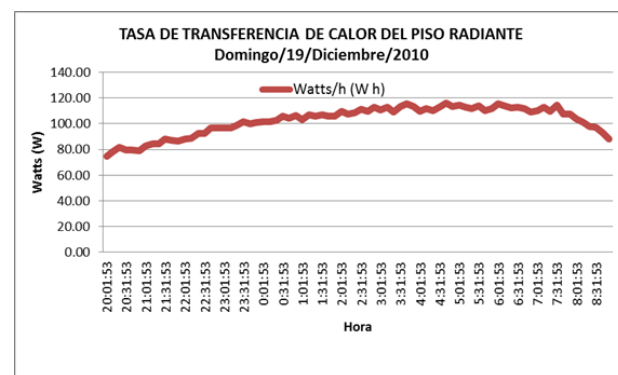


Fig. 356. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

20 de diciembre 2010

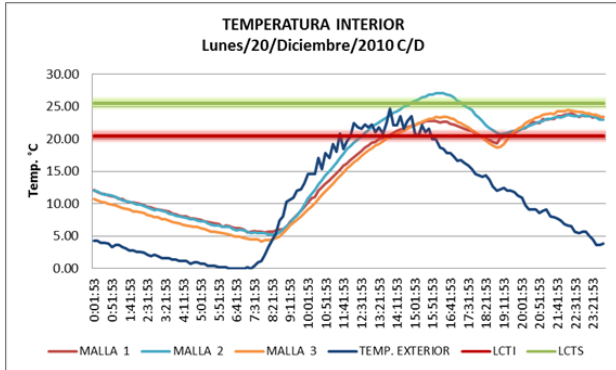


Fig. 357. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

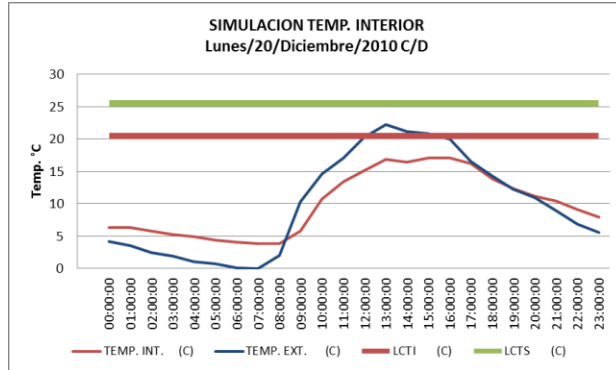


Fig. 358. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

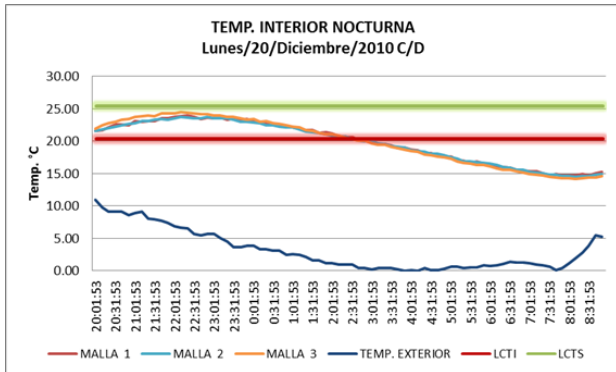


Fig. 359. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

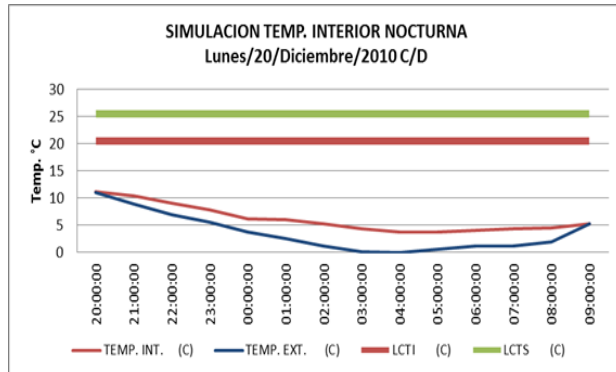


Fig. 360. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

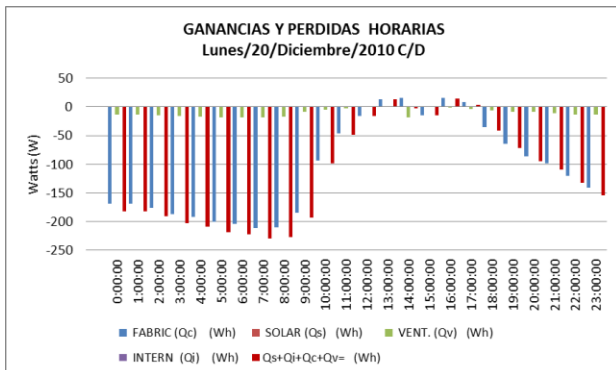


Fig. 361. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

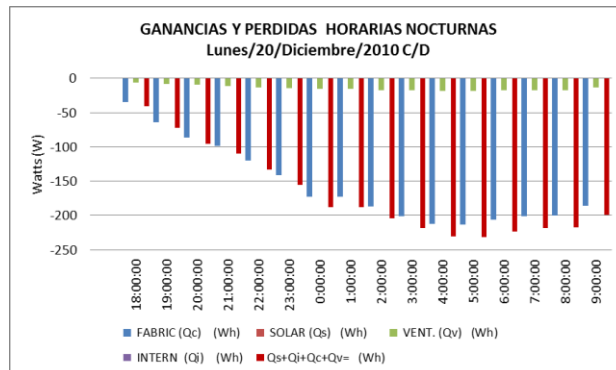


Fig. 362. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

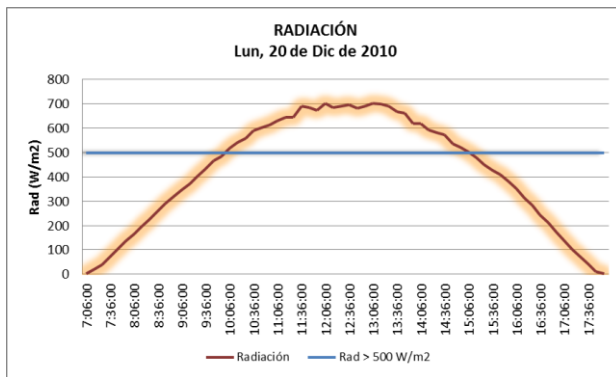


Fig. 363. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 20 de diciembre del 2010

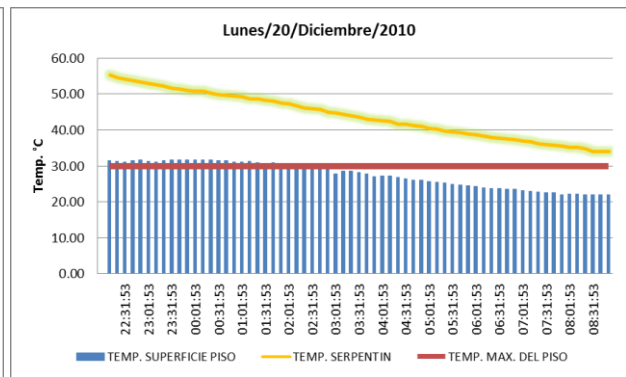


Fig. 364. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

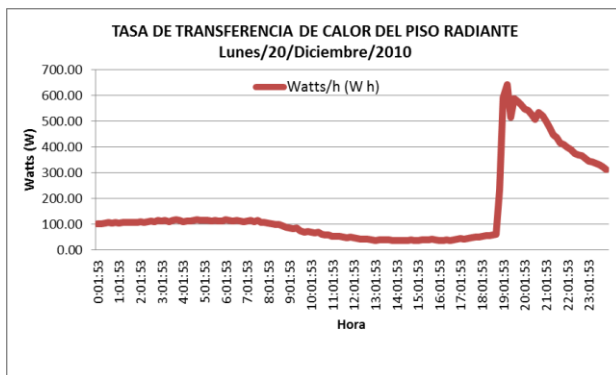


Fig. 365. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

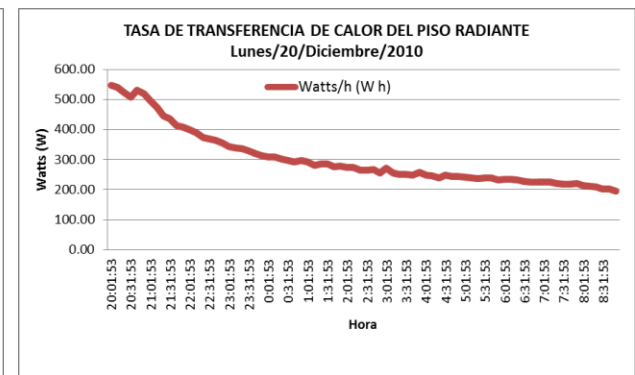


Fig. 366. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

21 de diciembre 2010

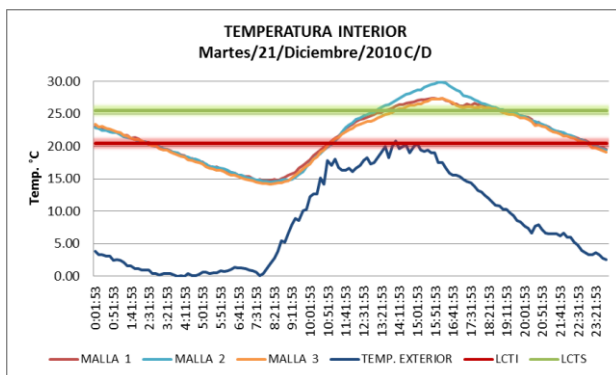


Fig. 367. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

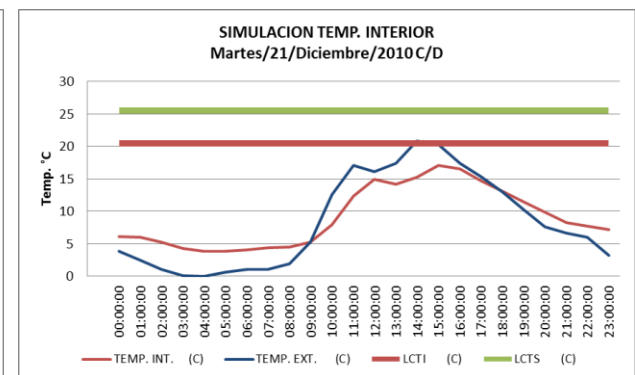


Fig. 368. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

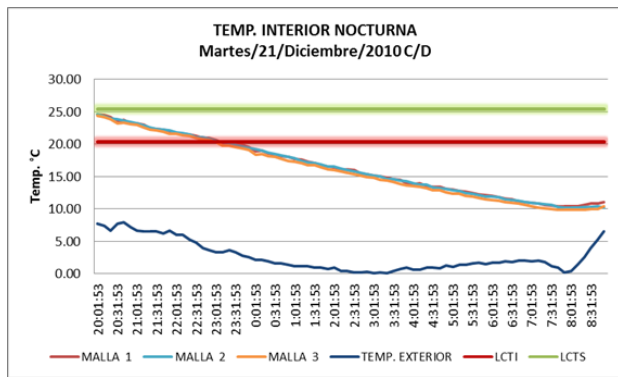


Fig. 369. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior

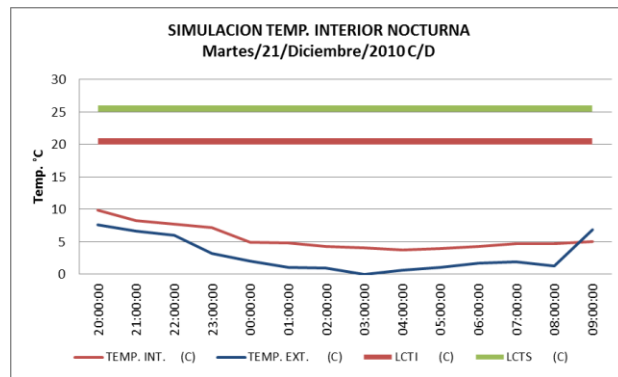


Fig. 370. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

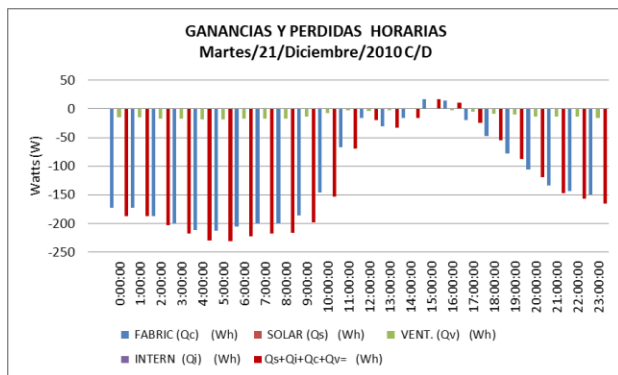


Fig. 371. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

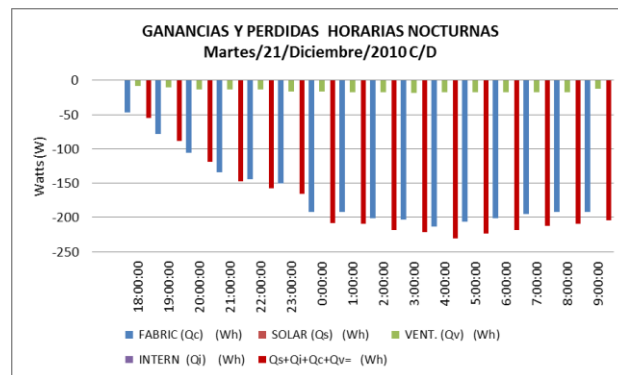


Fig. 372. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

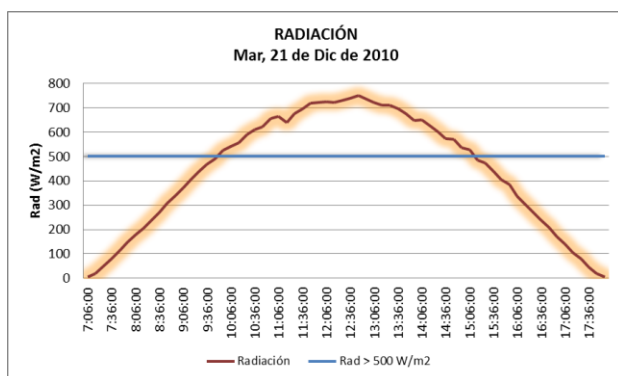


Fig. 373. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 21 de diciembre del 2010

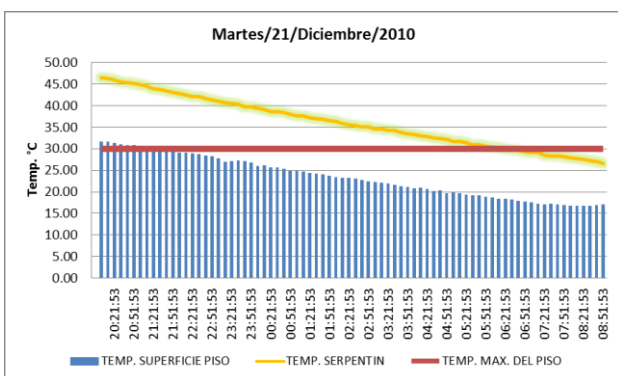


Fig. 374. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

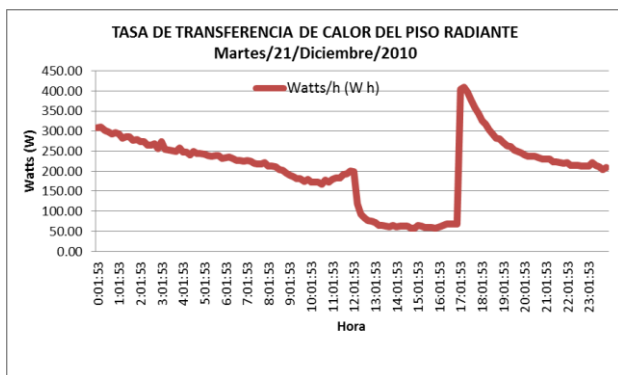


Fig. 375. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

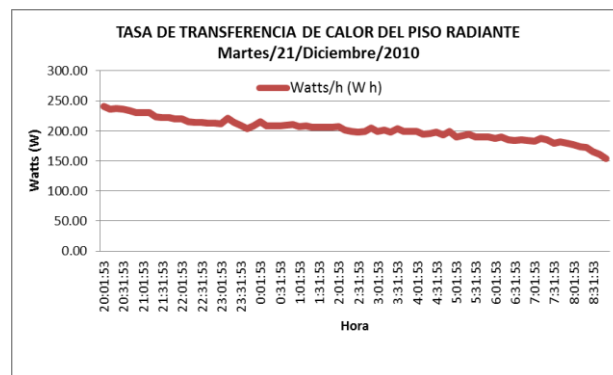


Fig. 376. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

22 de diciembre 2010

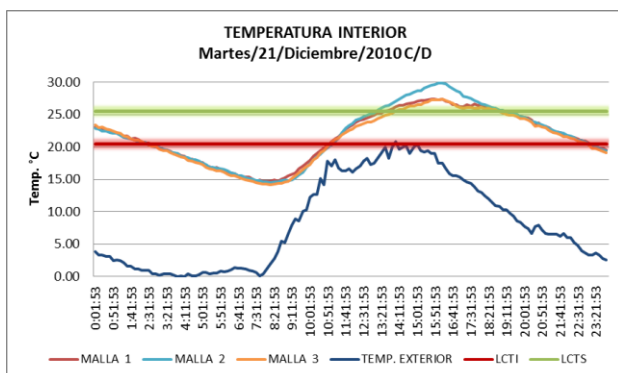


Fig. 377. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

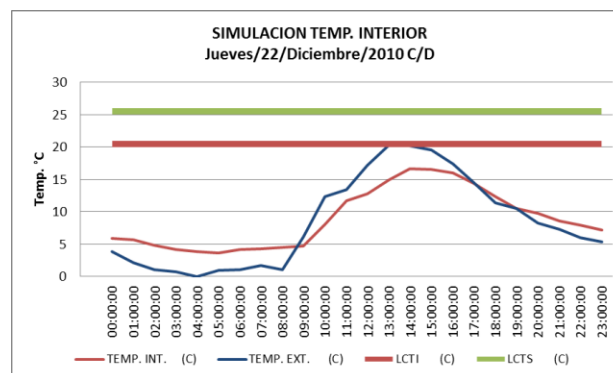


Fig. 378. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

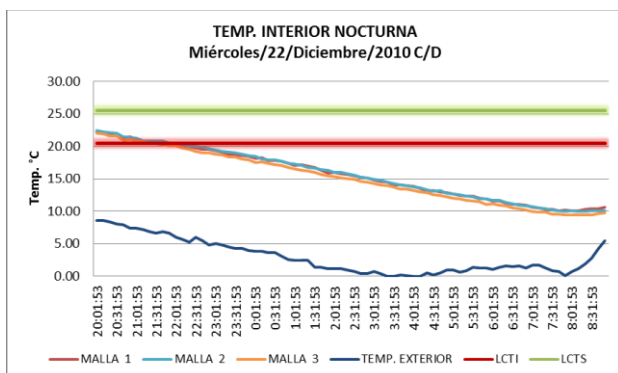


Fig. 379. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

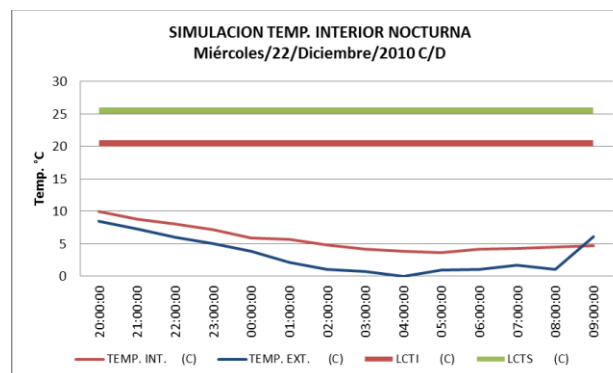


Fig. 380. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

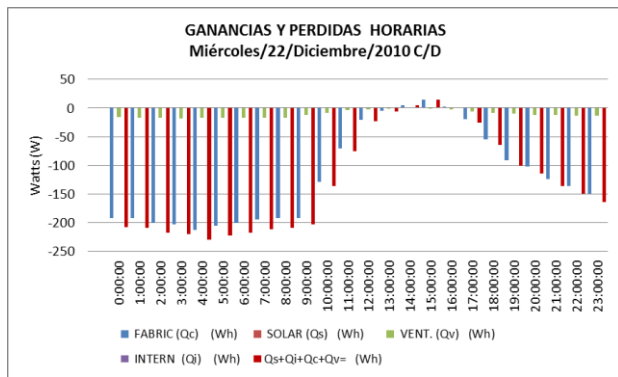


Fig. 381. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

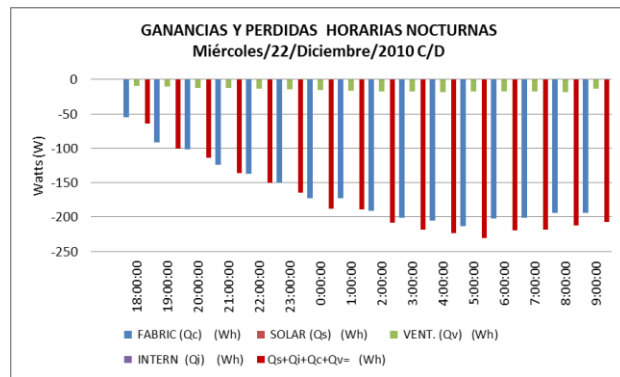


Fig. 382. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

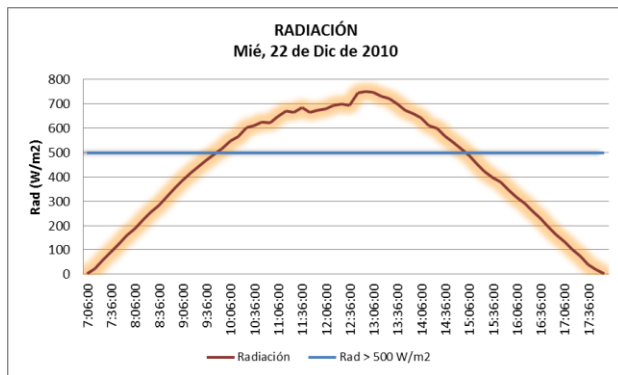


Fig. 383. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 22 de diciembre del 2010

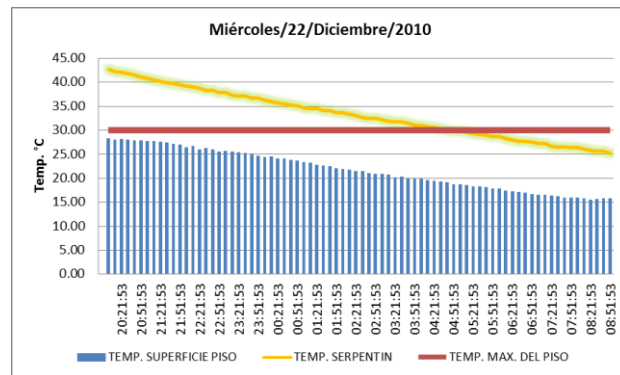


Fig. 384. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

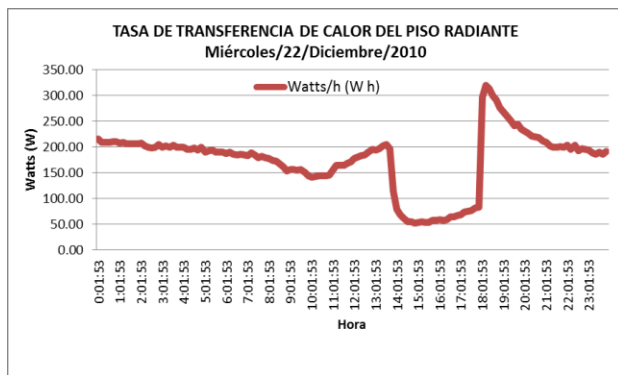


Fig. 385. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

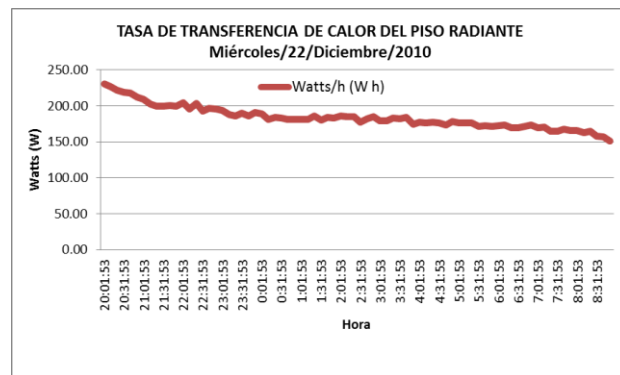


Fig. 386. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

4 de enero 2011

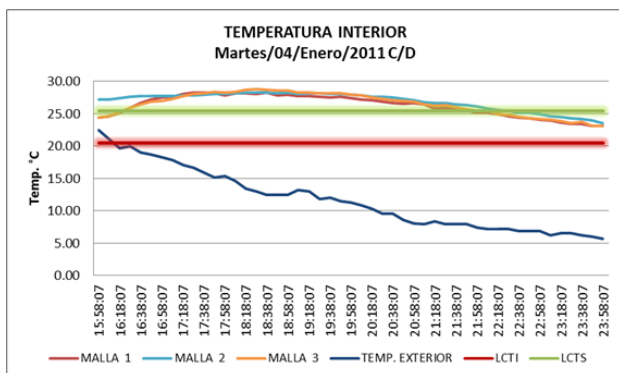


Fig. 387. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

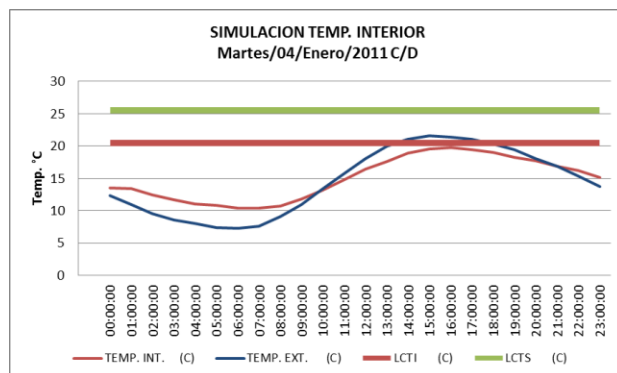


Fig. 388. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

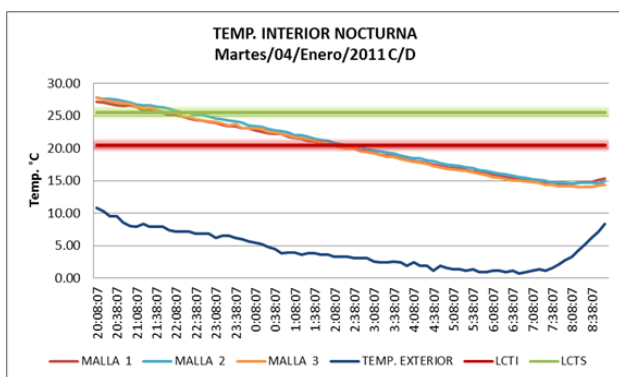


Fig. 389. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

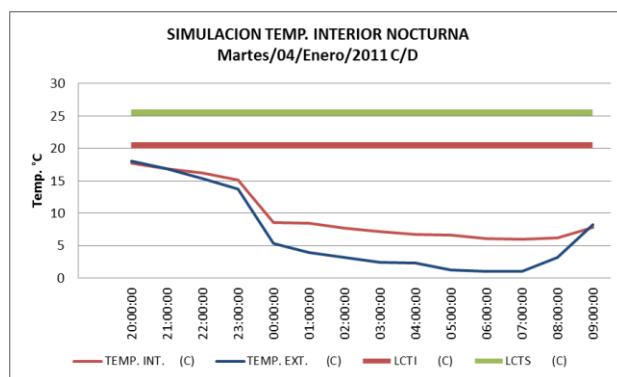


Fig. 390. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

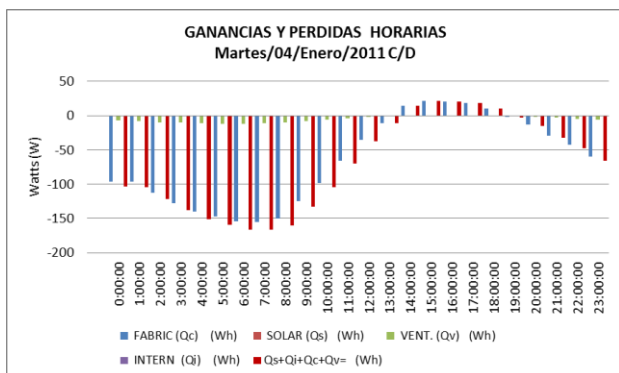


Fig. 391. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

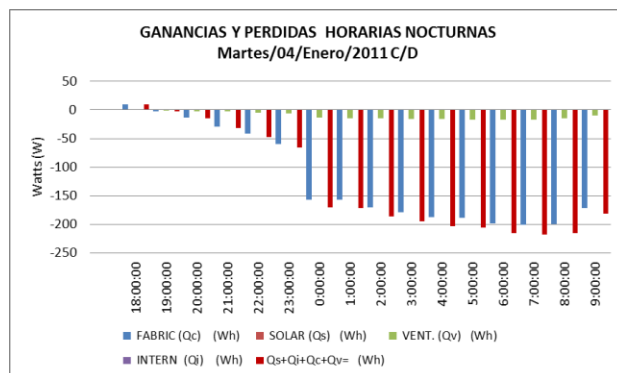


Fig. 392. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

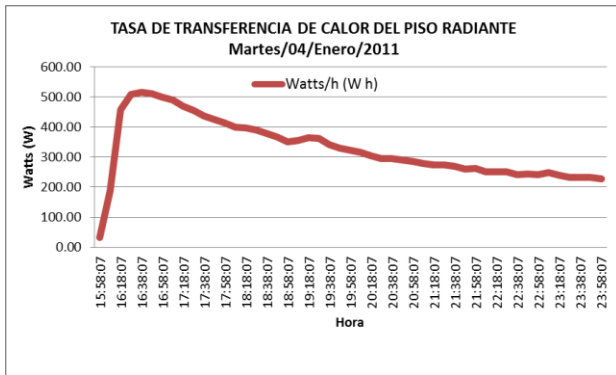


Fig. 393. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

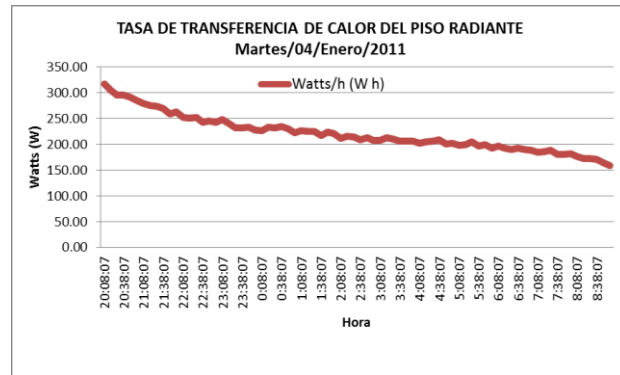


Fig. 394. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

5 de enero 2011

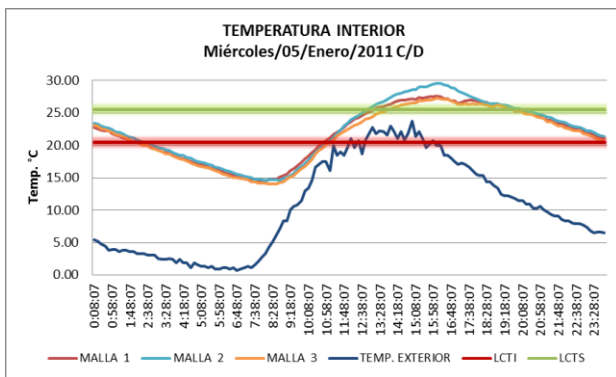


Fig. 395. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

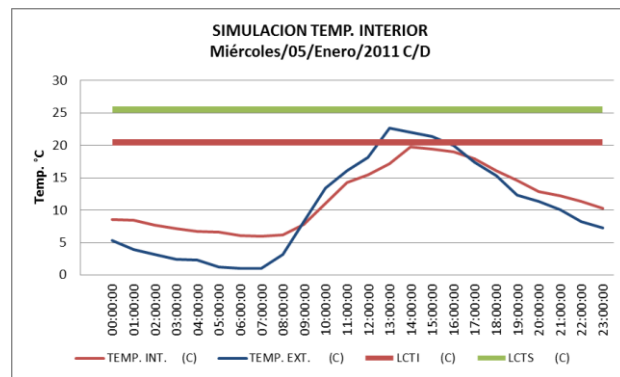


Fig. 396. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

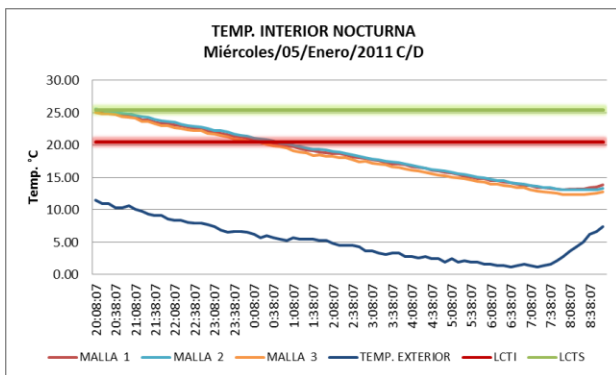


Fig. 397. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

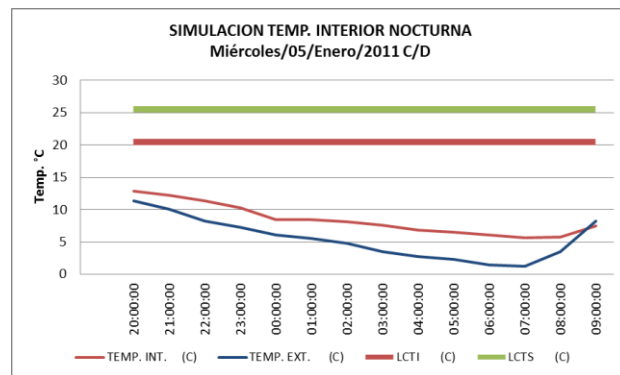


Fig. 398. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

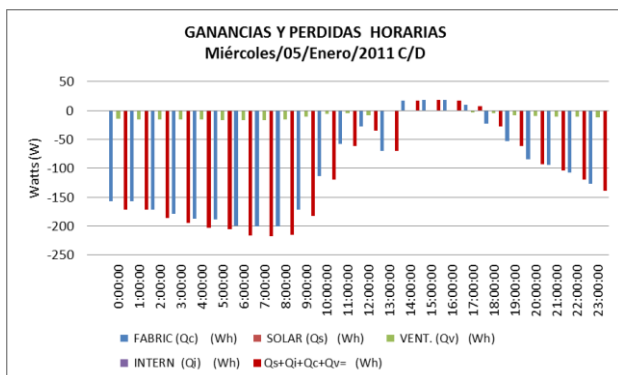


Fig. 399. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

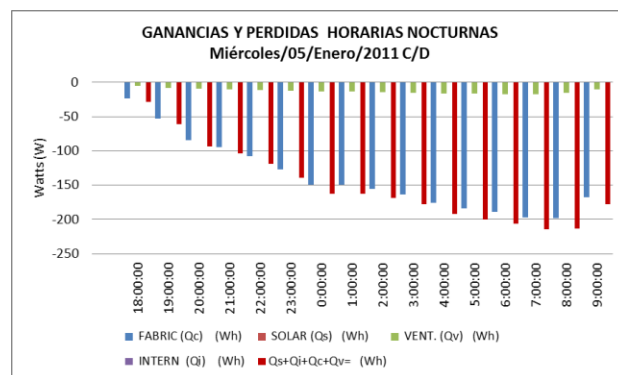


Fig. 400. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

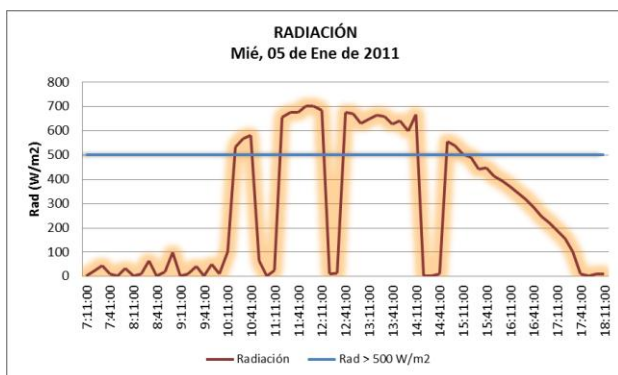


Fig. 401. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 5 de enero del 2010

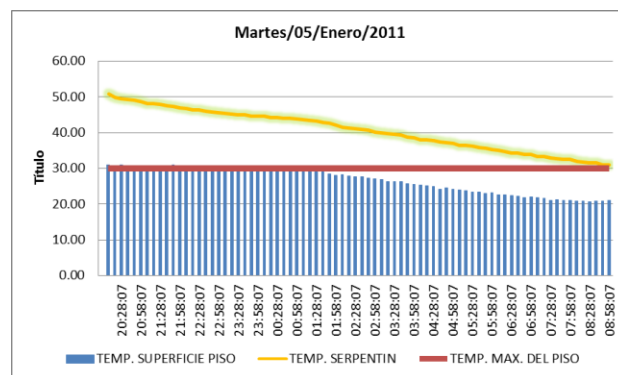


Fig. 402. Imagen que muestra de la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

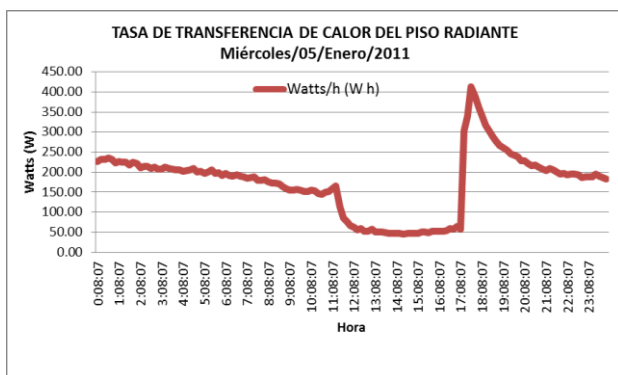


Fig. 403. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

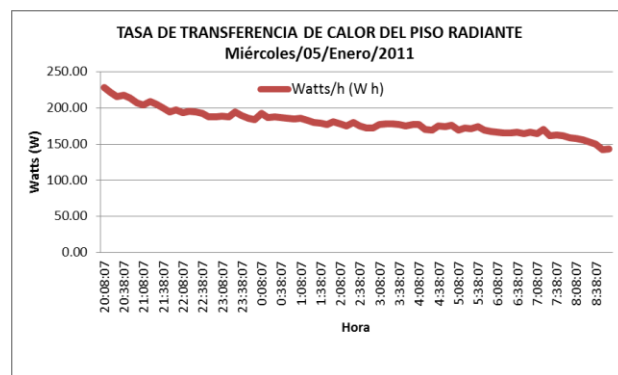


Fig. 404. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas.

6 de enero 2011 Funcionamiento del dispositivo durante el día

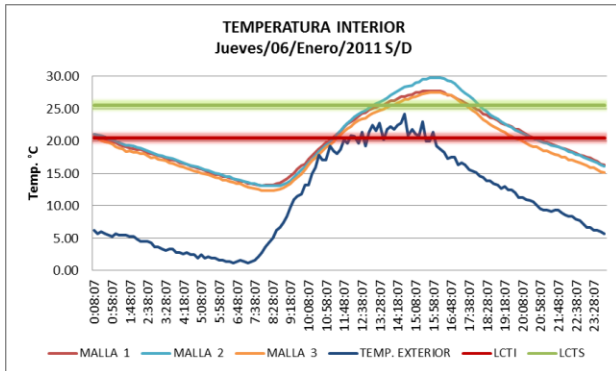


Fig. 405. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

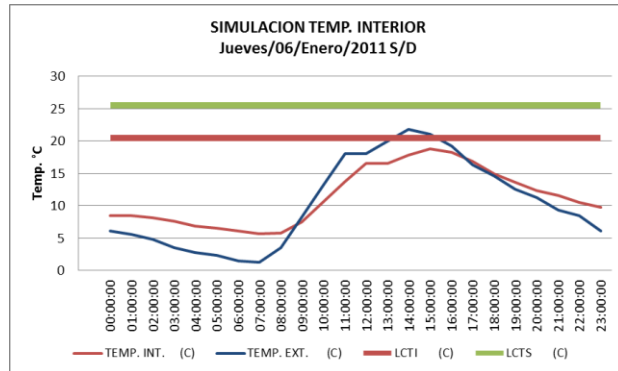


Fig. 406. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

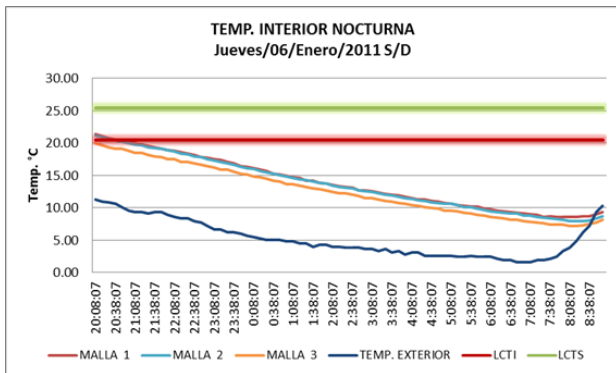


Fig. 407. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

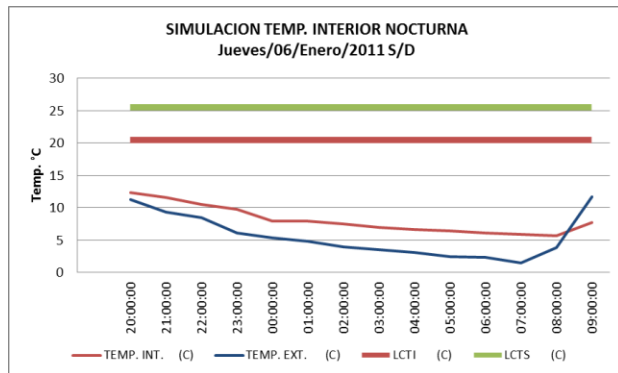


Fig. 408. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

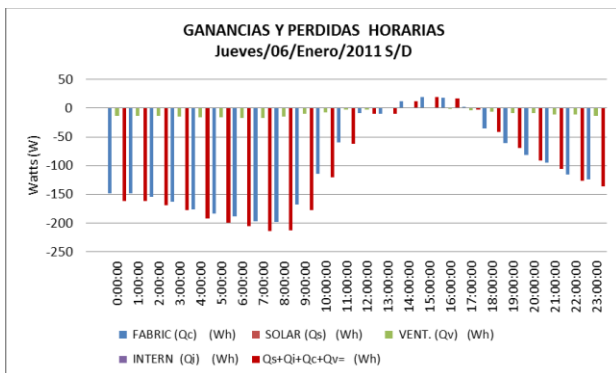


Fig. 409. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

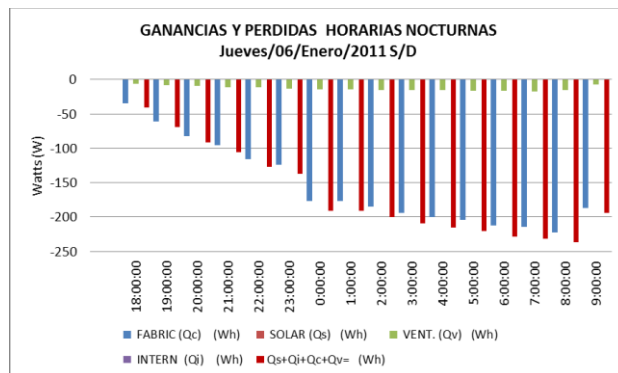


Fig. 410. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

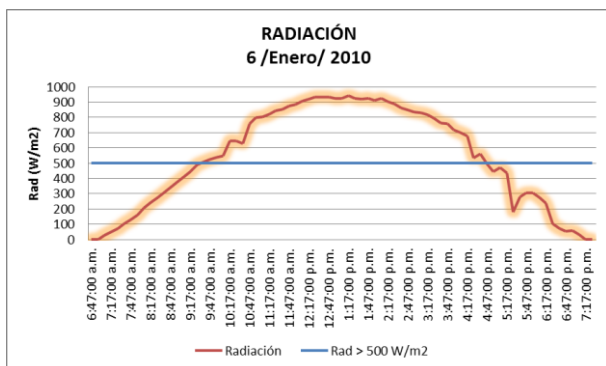


Fig. 411. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 6 de enero del 2010

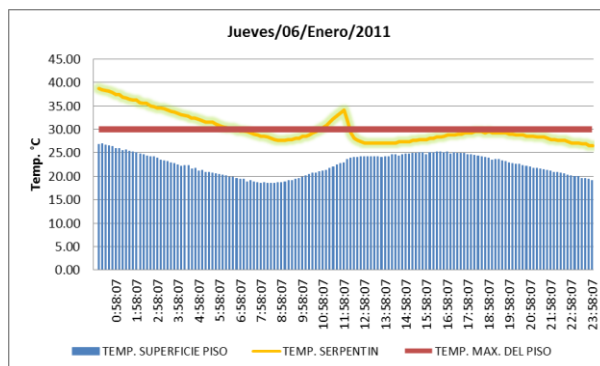


Fig. 412. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

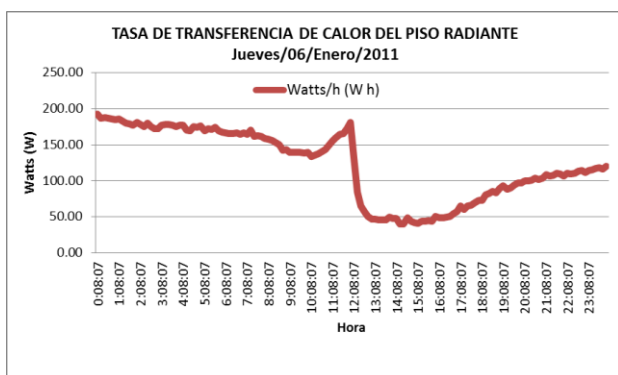


Fig. 413. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

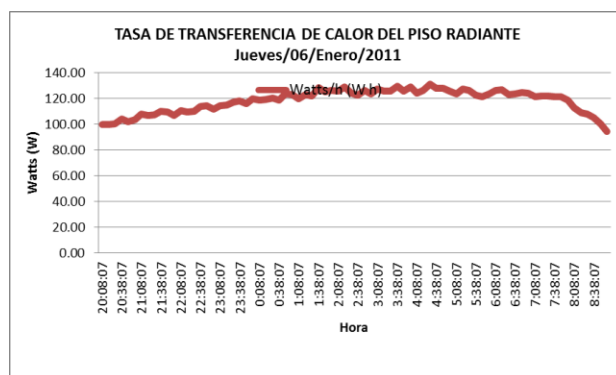


Fig. 414. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

27 de enero 2011

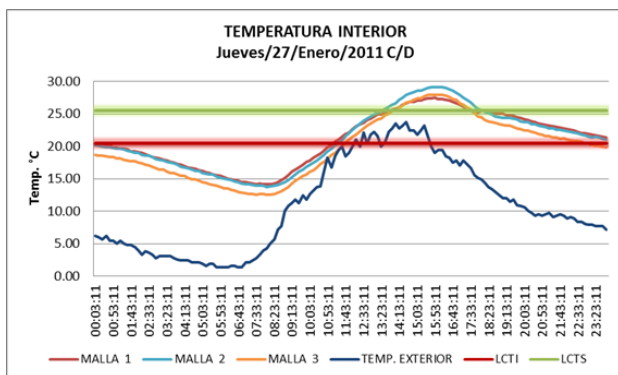


Fig. 415. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

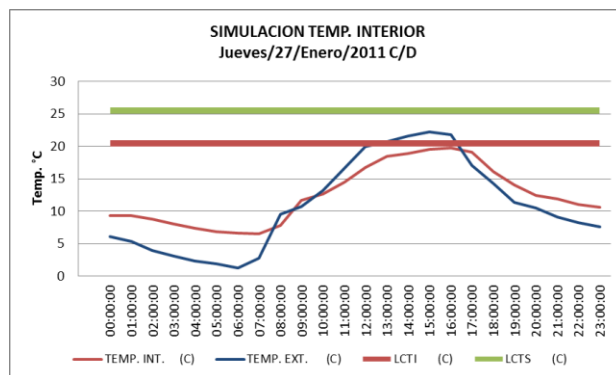


Fig. 416. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

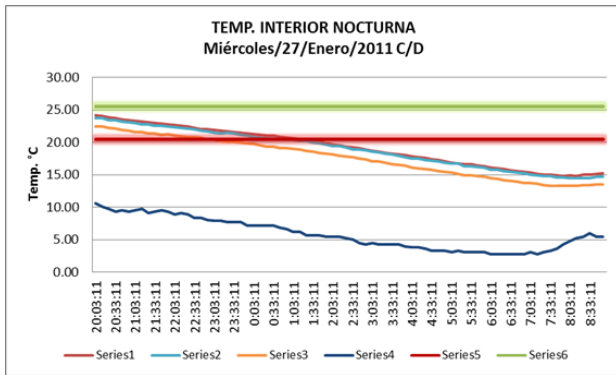


Fig. 417. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

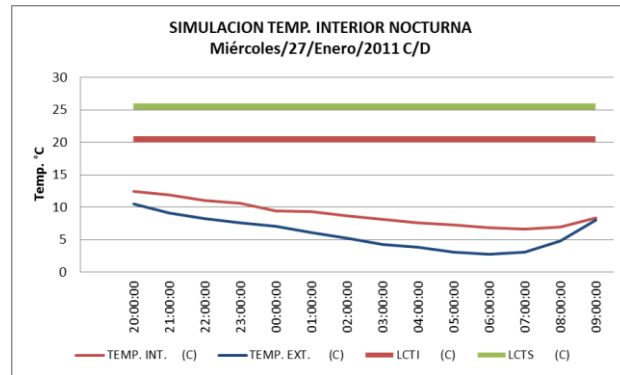


Fig. 418. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

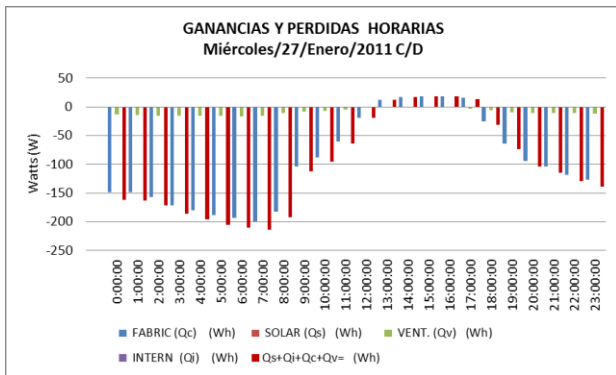


Fig. 419. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

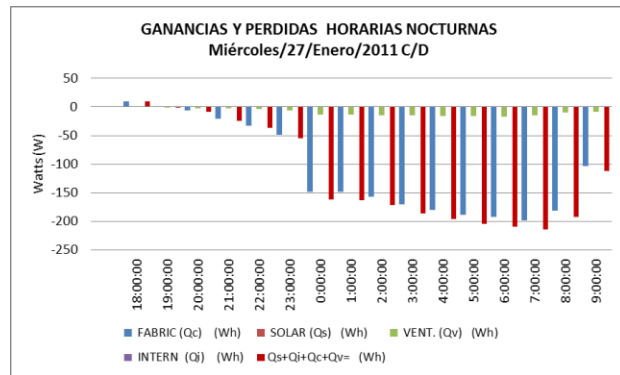


Fig. 420. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

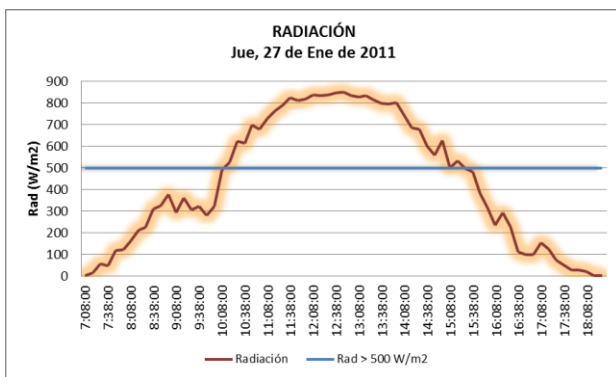


Fig. 421. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 27 de enero del 2010

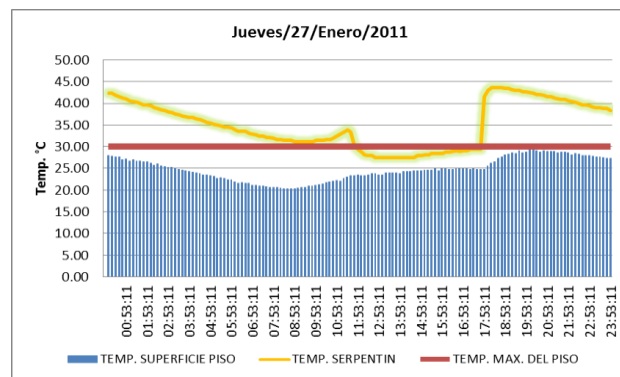


Fig. 422. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

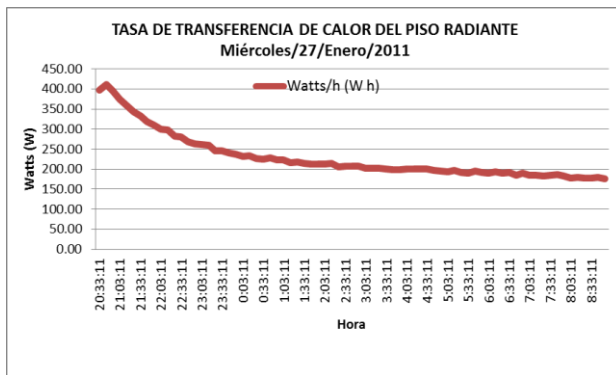


Fig. 423. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

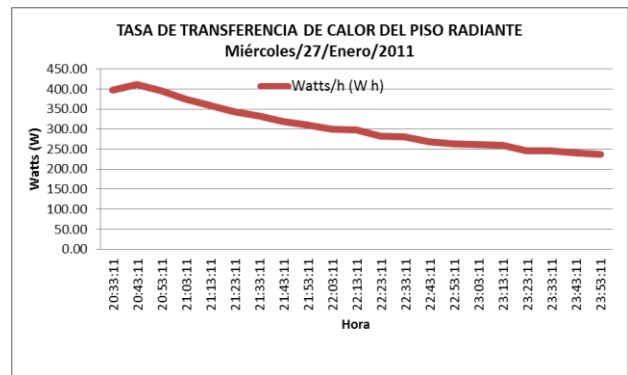


Fig. 424. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

28 de enero 2011

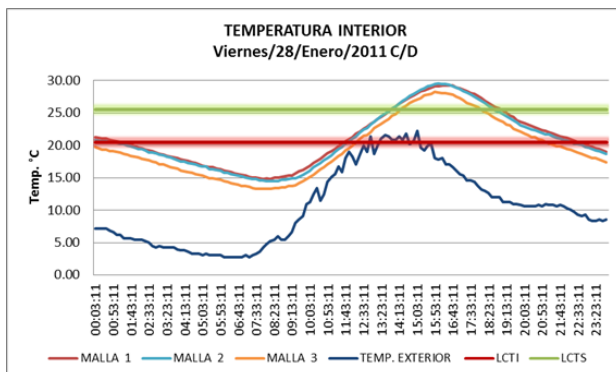


Fig. 425. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

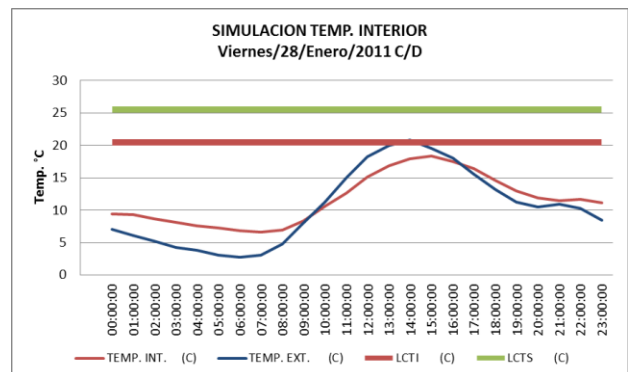


Fig. 426. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

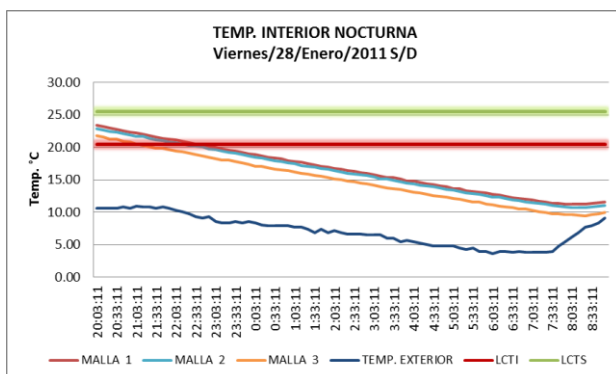


Fig. 427. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

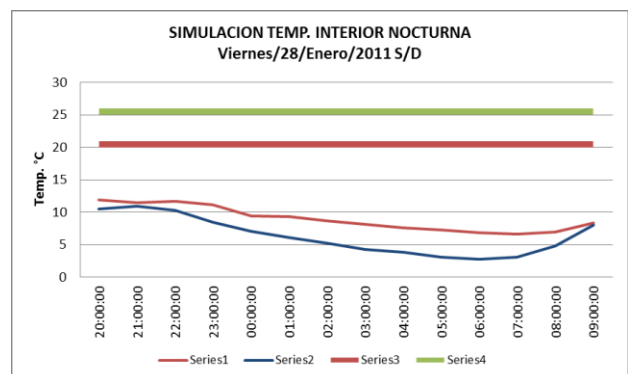


Fig. 428. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

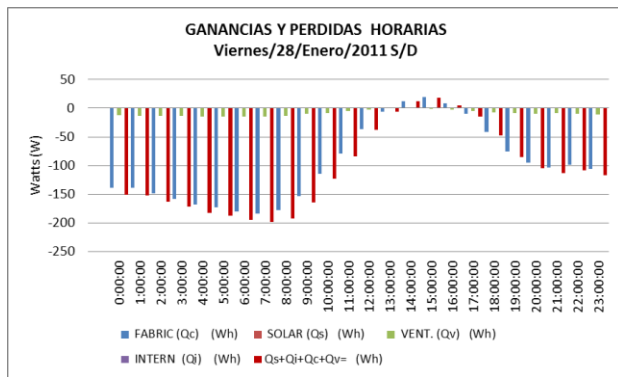


Fig. 429. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

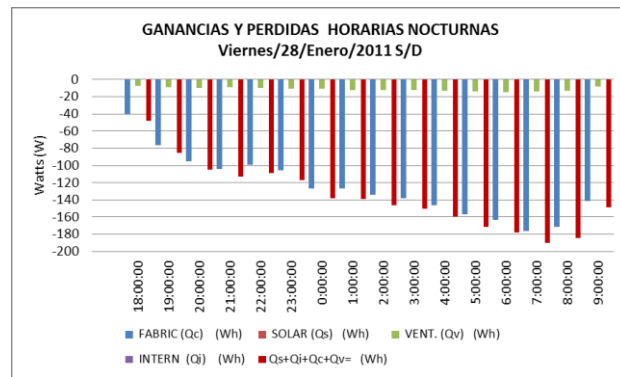


Fig. 430. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

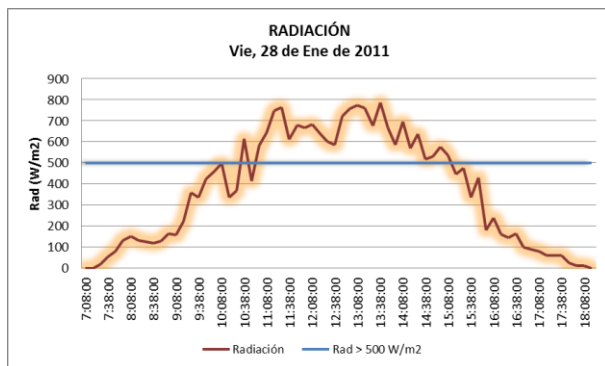


Fig. 431. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 28 de enero del 2010

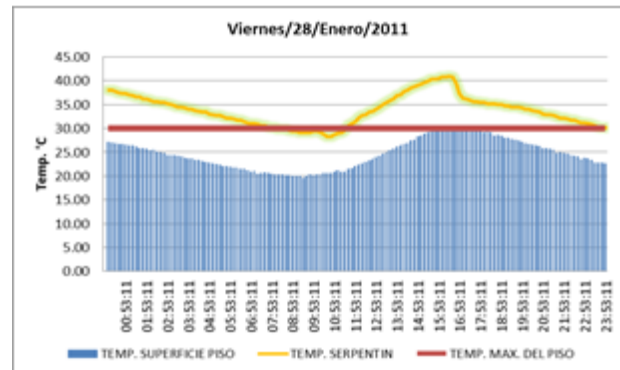


Fig. 432. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

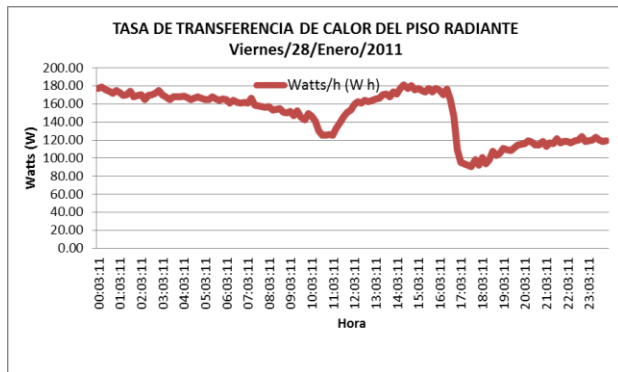


Fig. 433. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

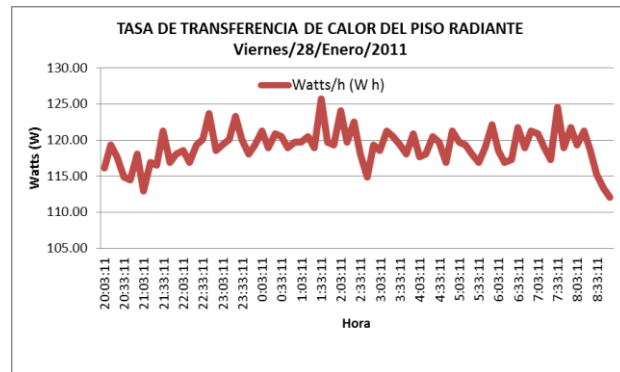


Fig. 434. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

29 de enero 2011

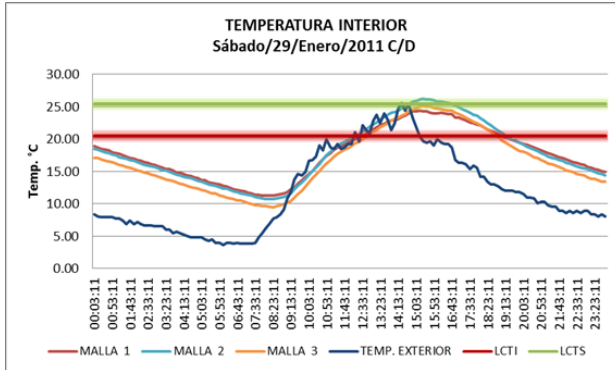


Fig. 435. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

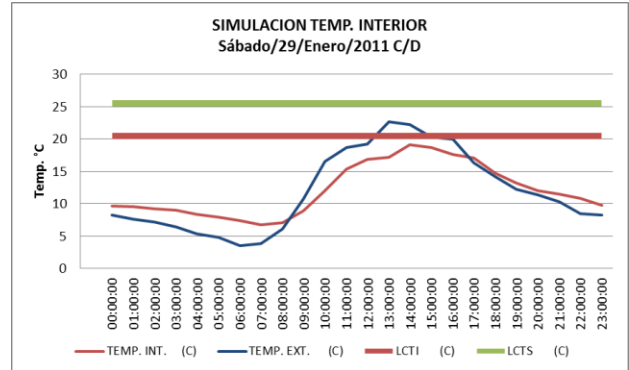


Fig. 436. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

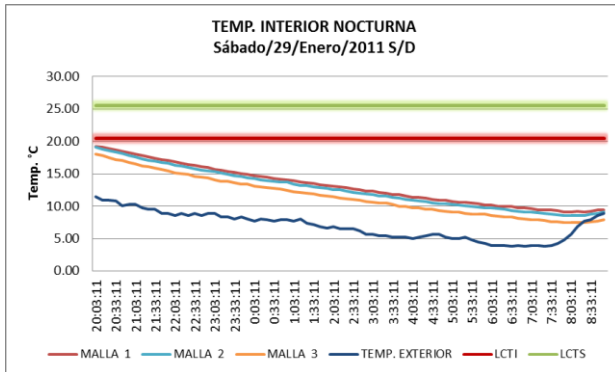


Fig. 437. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

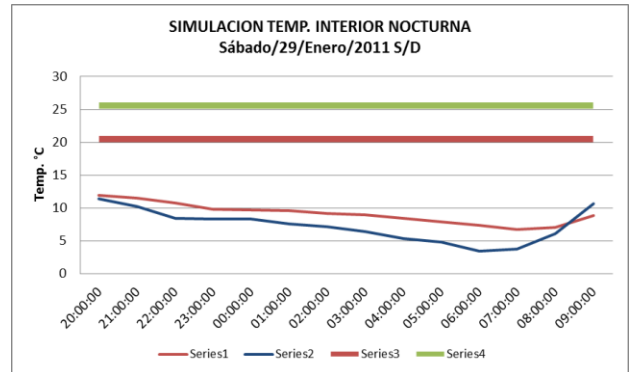


Fig. 438. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

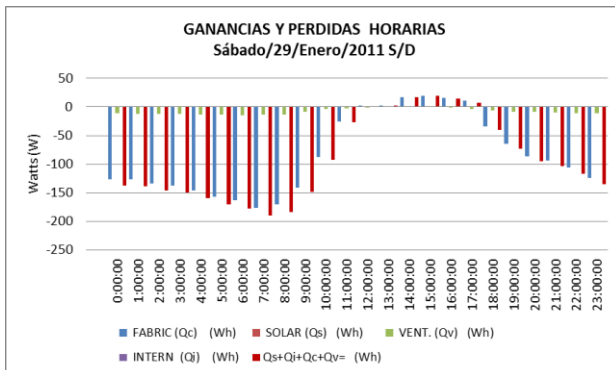


Fig. 439. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

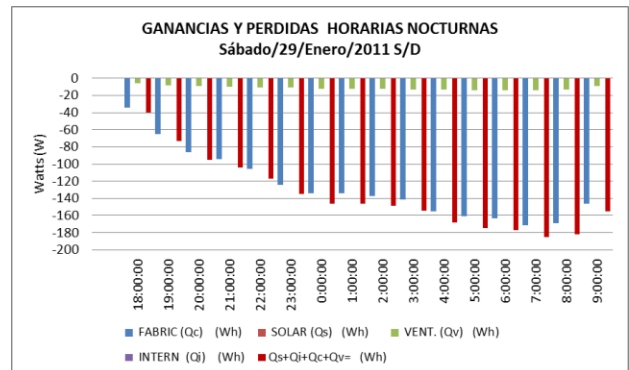


Fig. 440. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

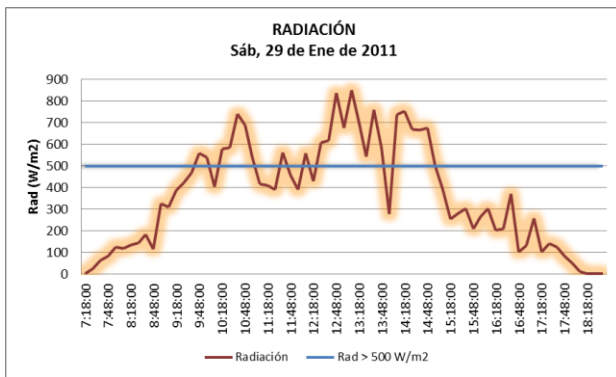


Fig. 441. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 29 de enero del 2010

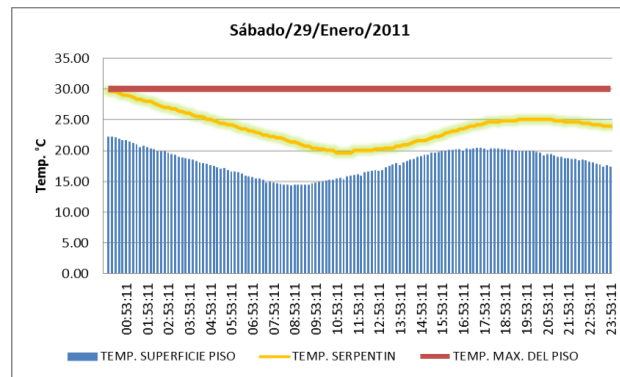


Fig. 442. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

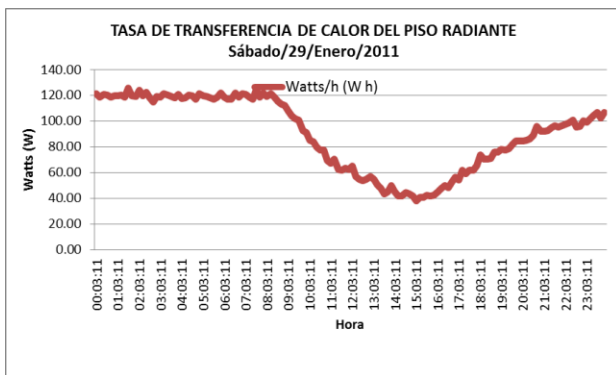


Fig. 443. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

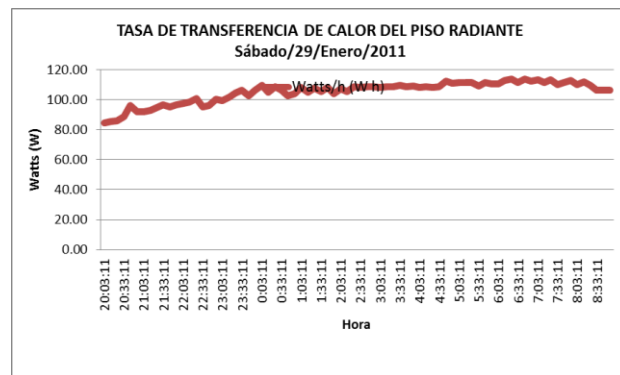


Fig. 444. - Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

30 de enero 2011

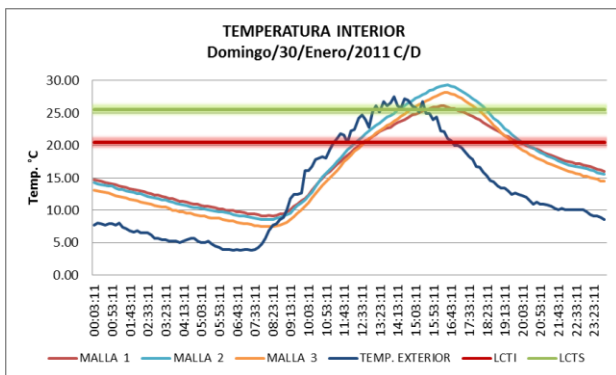


Fig. 445. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

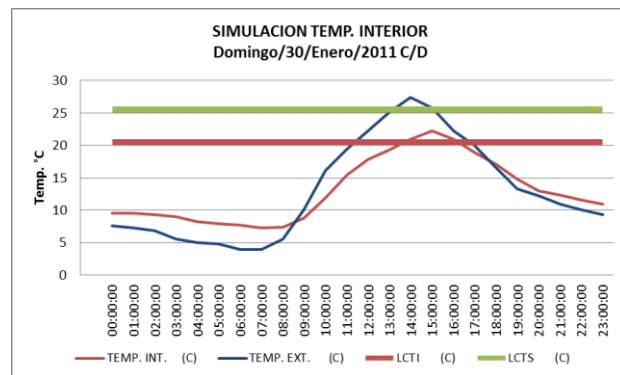


Fig. 446. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

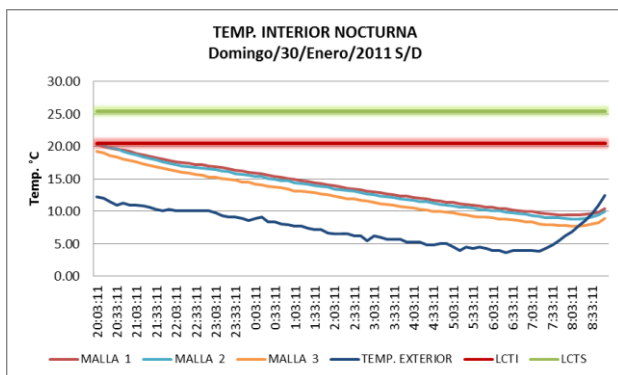


Fig. 447. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

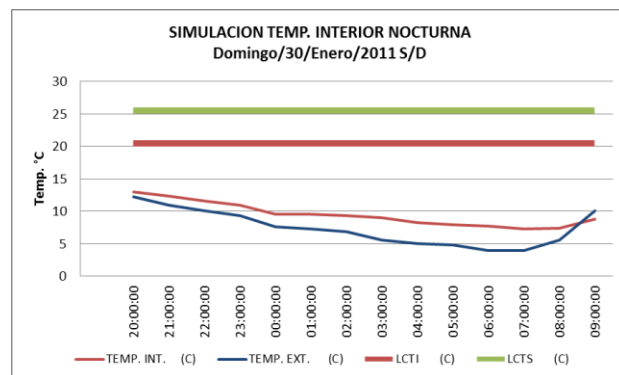


Fig. 448. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

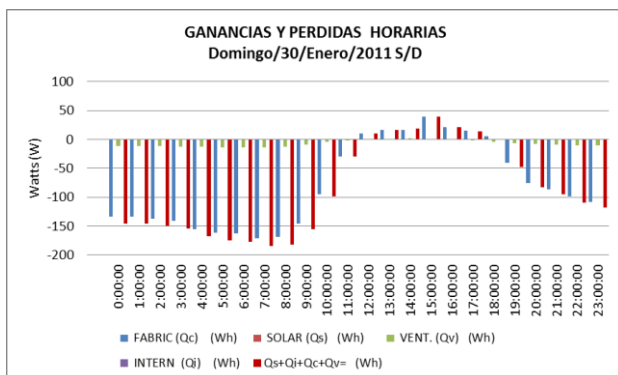


Fig. 449. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

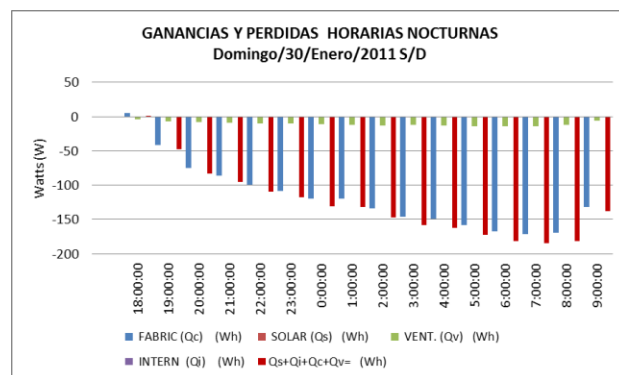


Fig. 450. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

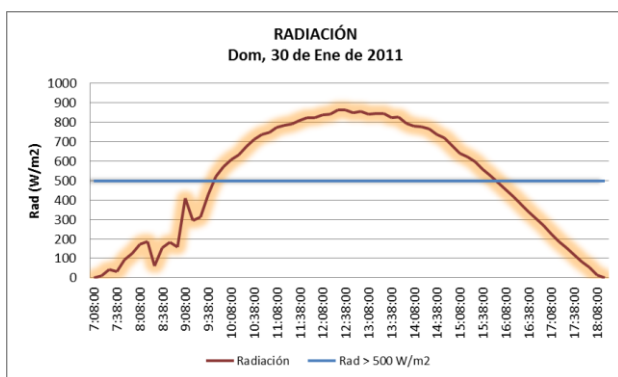


Fig. 451. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 30 de enero del 2010

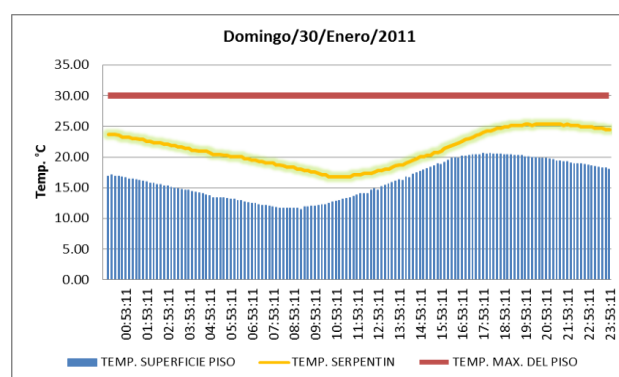


Fig. 452. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

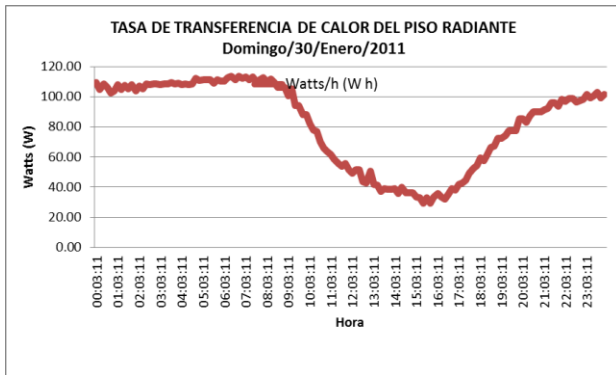


Fig. 453. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

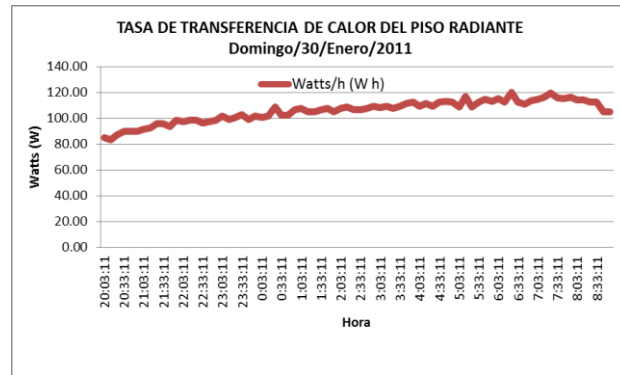


Fig. 454. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

31 de enero 2011

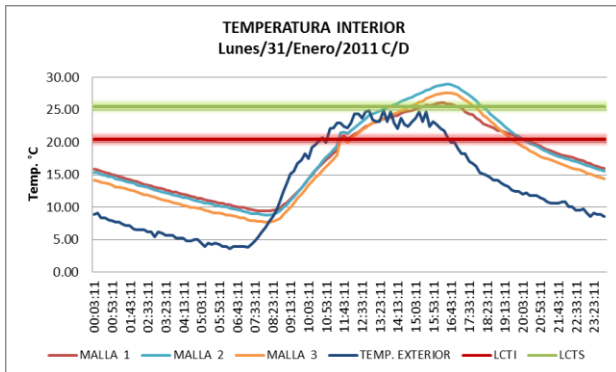


Fig. 455. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

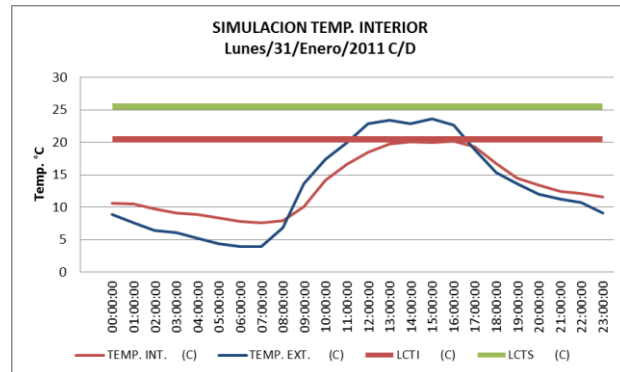


Fig. 456. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

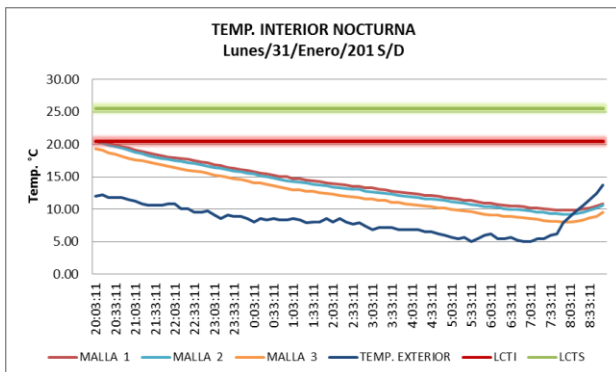


Fig. 457. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

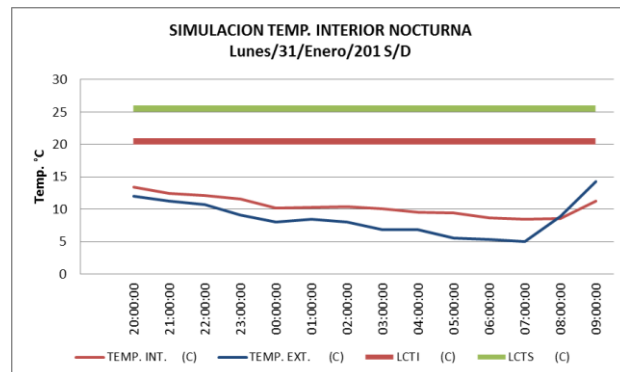


Fig. 458. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

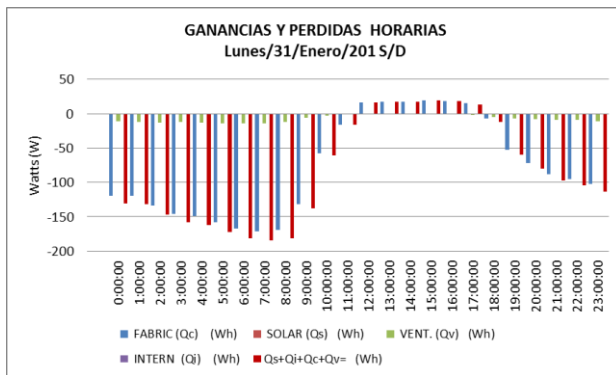


Fig. 459. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

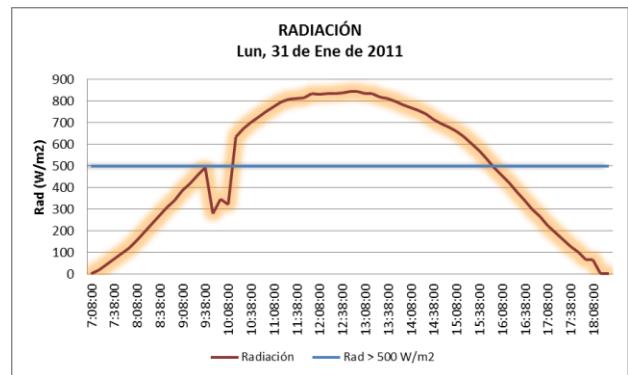


Fig. 460. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 31 de enero del 2010

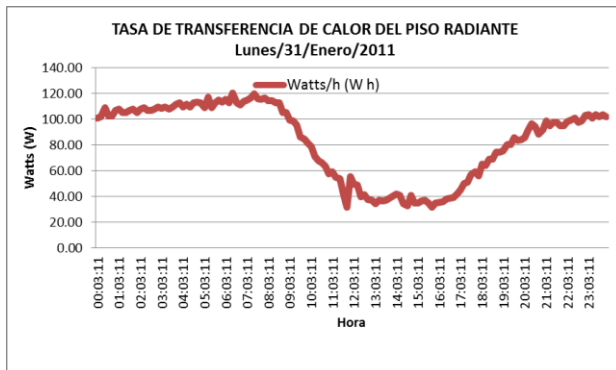


Fig. 461. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

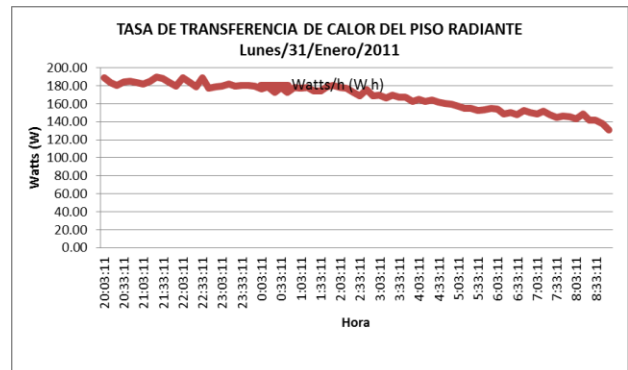


Fig. 462. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

1 de febrero 2011

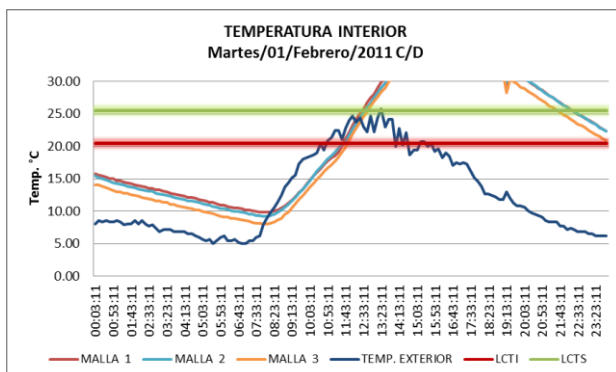


Fig. 463. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo de día

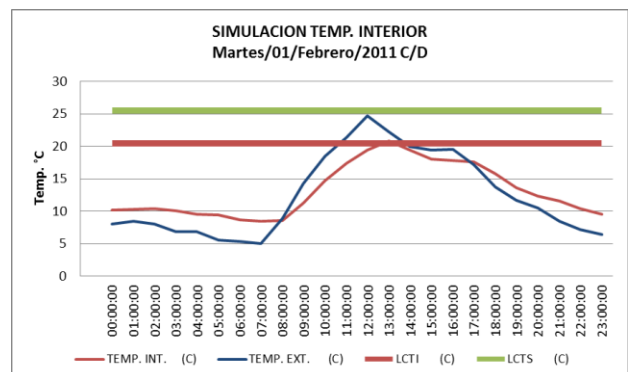


Fig. 464. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

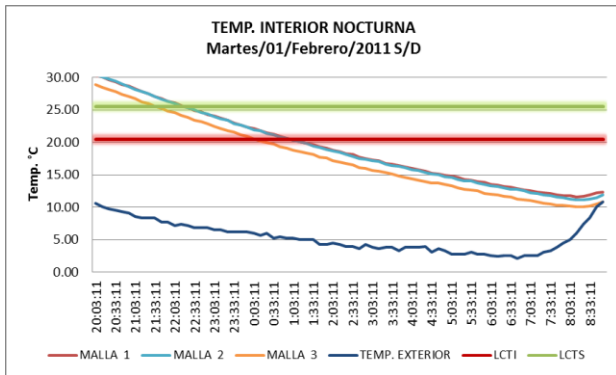


Fig. 465. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

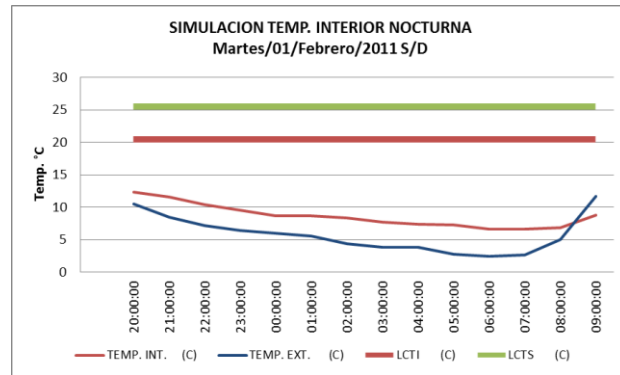


Fig. 466. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

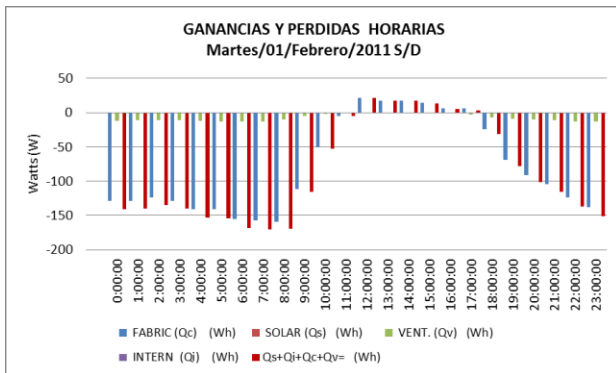


Fig. 467. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

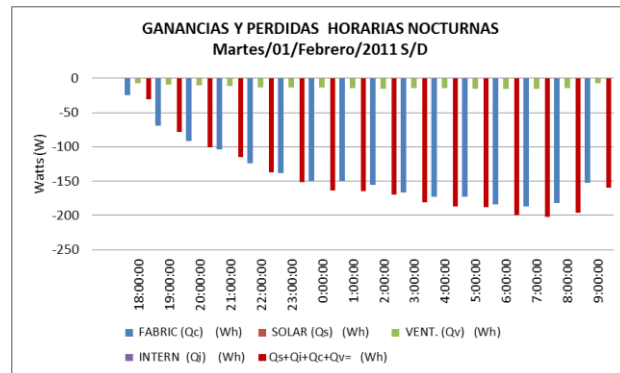


Fig. 468. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

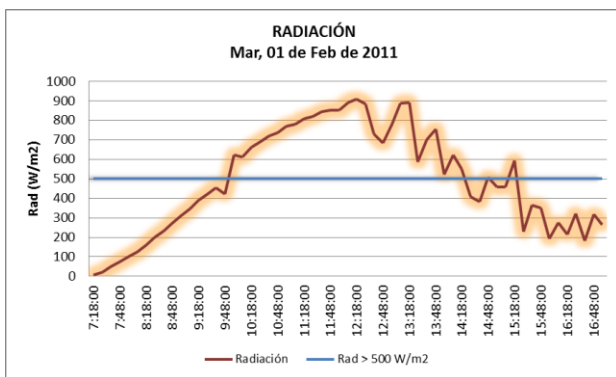


Fig. 469. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 1 de febrero del 2010

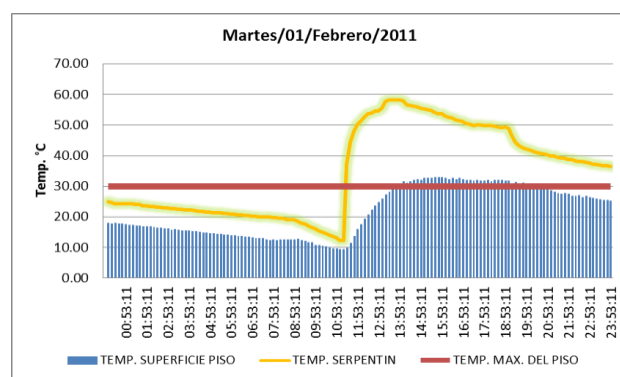


Fig. 470. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

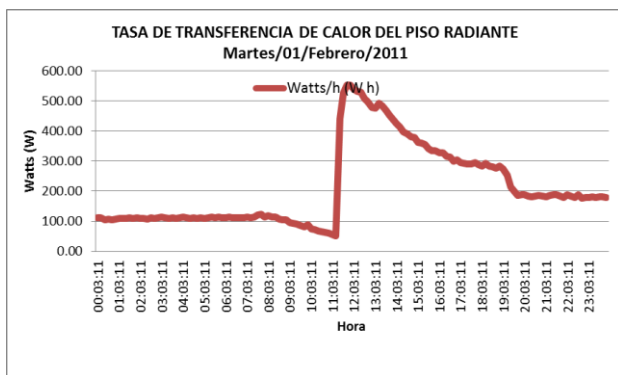


Fig. 471. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

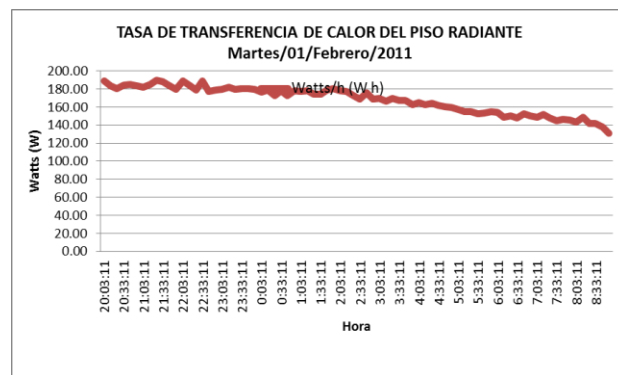


Fig. 472. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

2 de febrero 2011

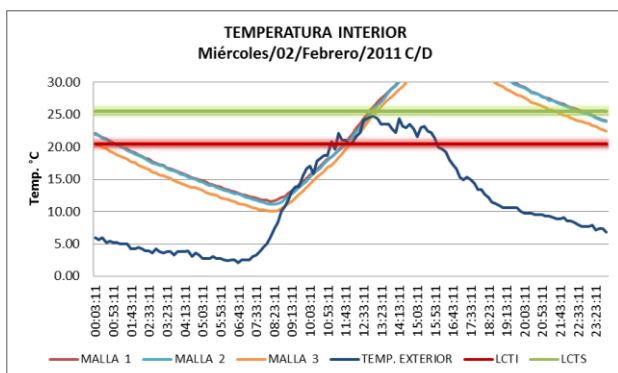


Fig. 473. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

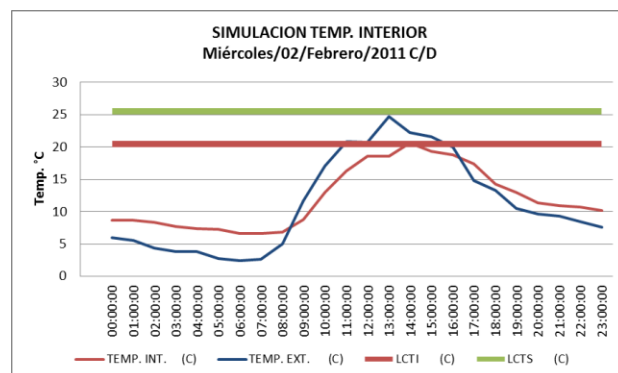


Fig. 474. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

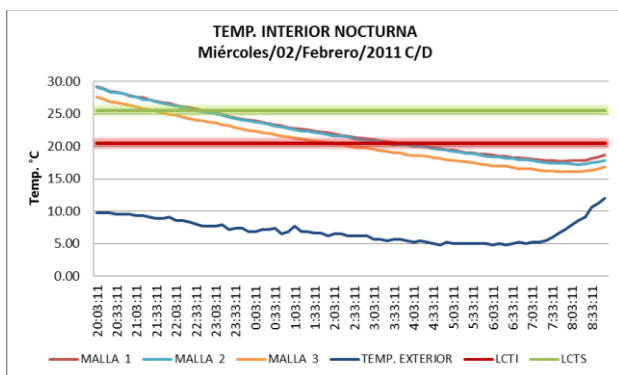


Fig. 475. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

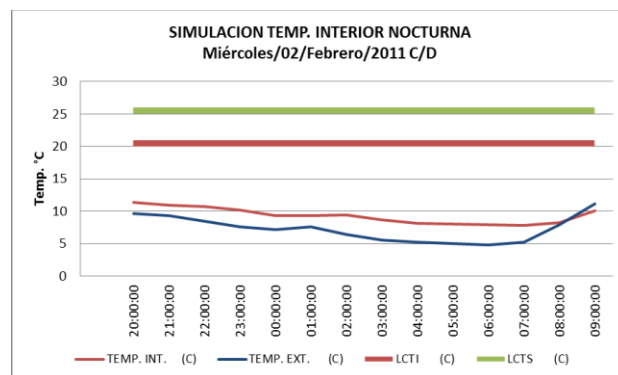


Fig. 476. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

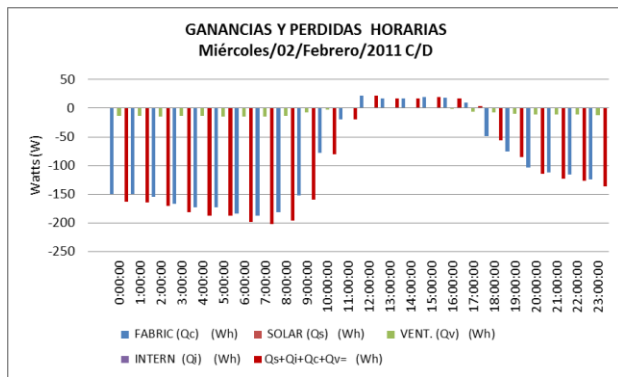


Fig. 477. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

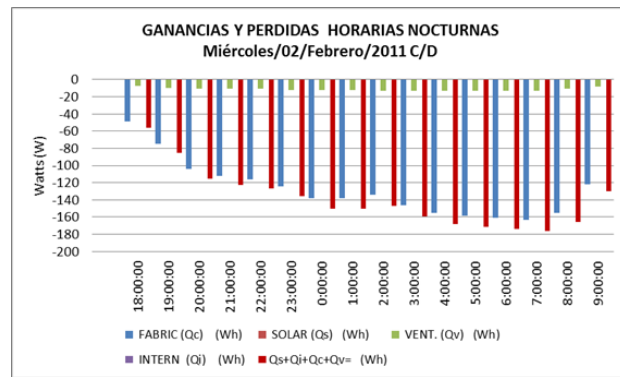


Fig. 478. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

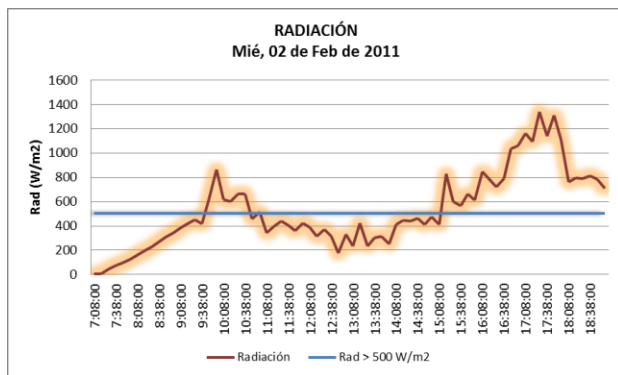


Fig. 479. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 2 de febrero del 2010

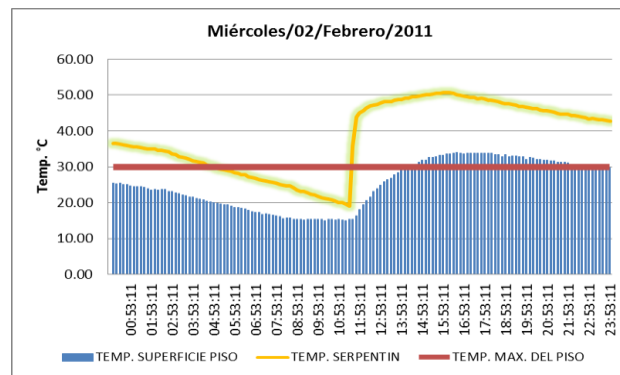


Fig. 480. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

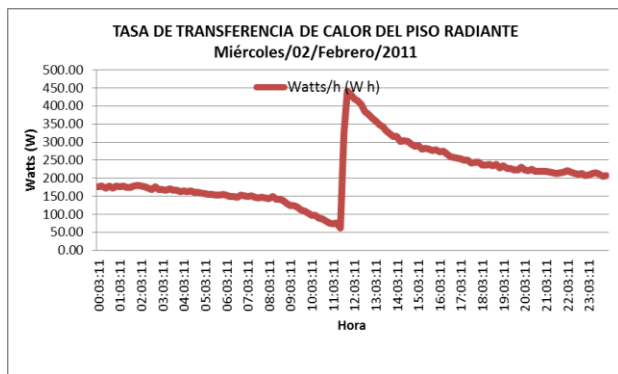


Fig. 481. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

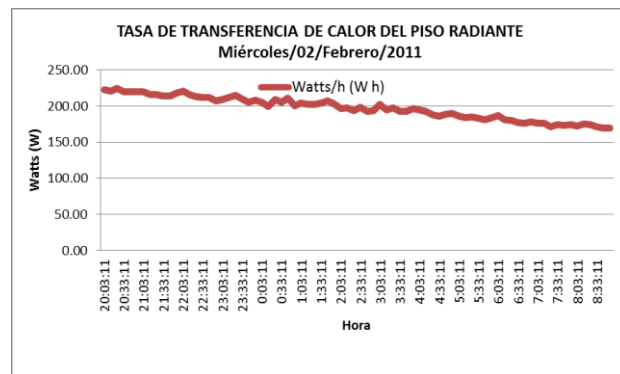


Fig. 482. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

3 de febrero 2011

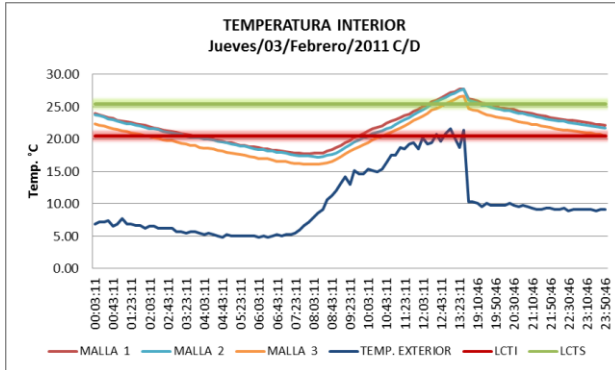


Fig. 483. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

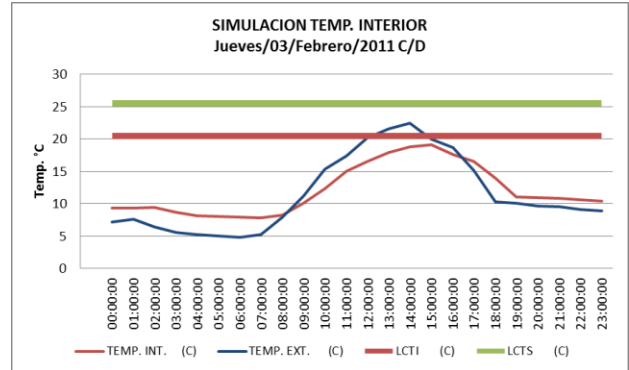


Fig. 484. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

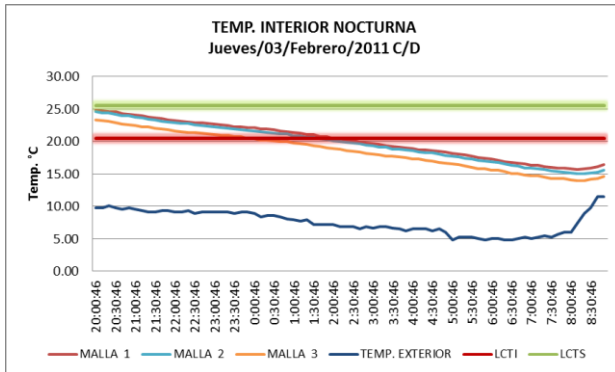


Fig. 485. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

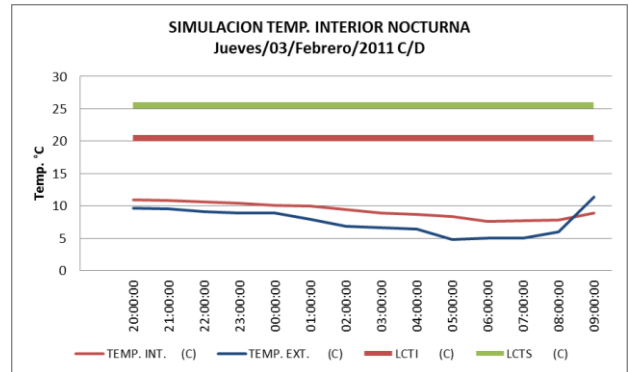


Fig. 486. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

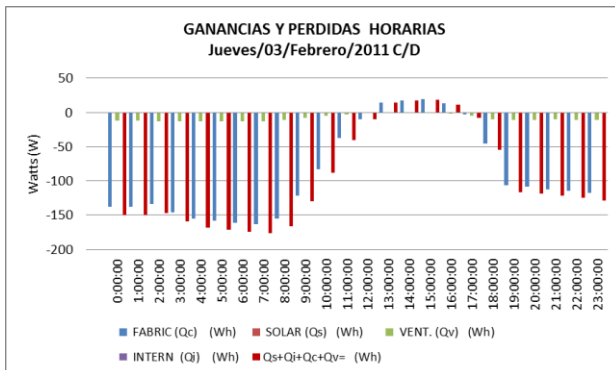


Fig. 487. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

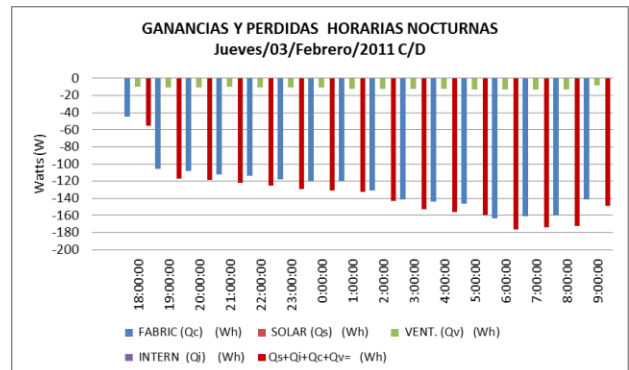


Fig. 488. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

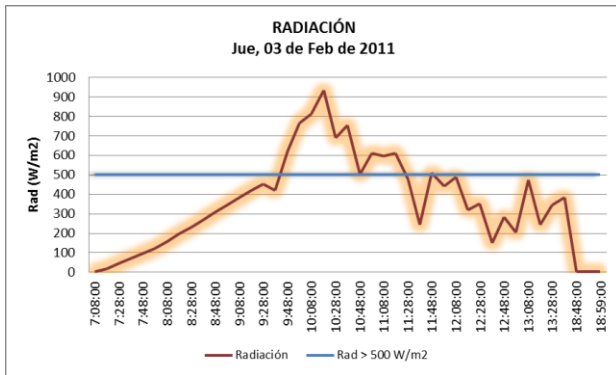


Fig. 489. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 3 de febrero del 2010

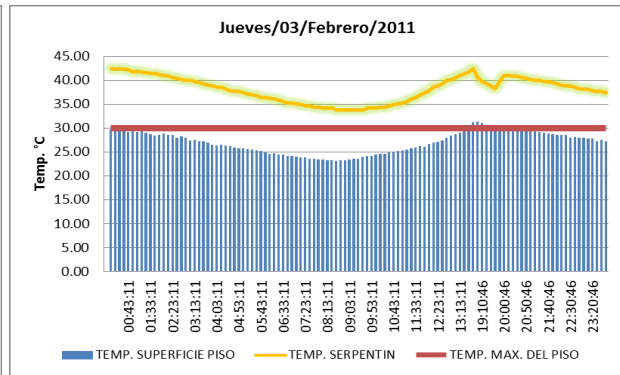


Fig. 490. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

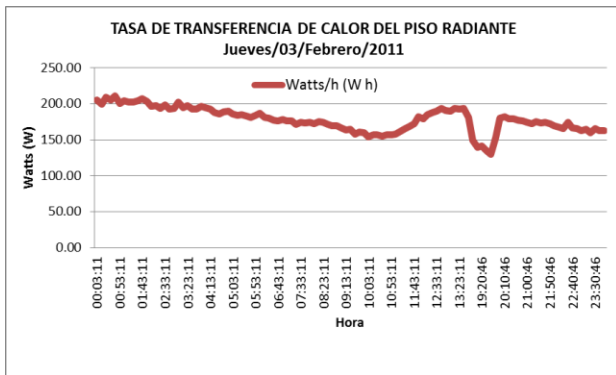


Fig. 491. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

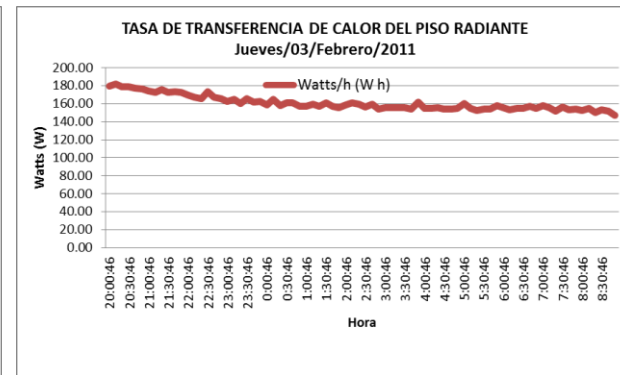


Fig. 492. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

4 de febrero 2011

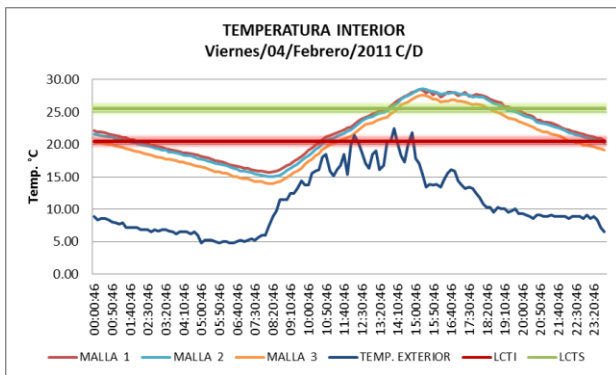


Fig. 493. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

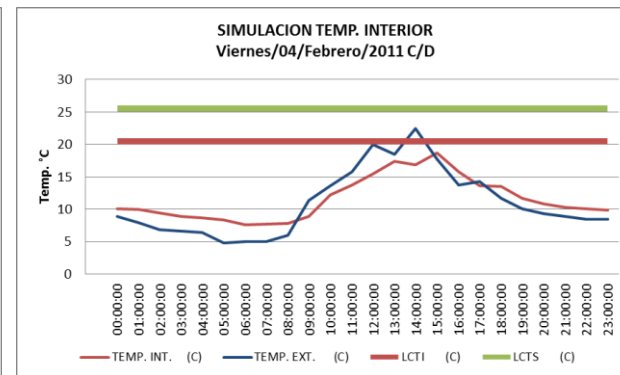


Fig. 494. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

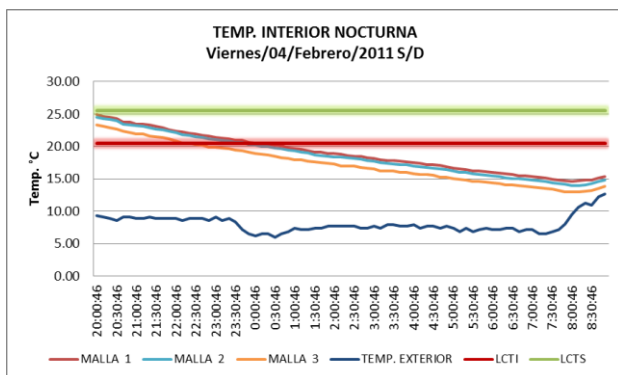


Fig. 495. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

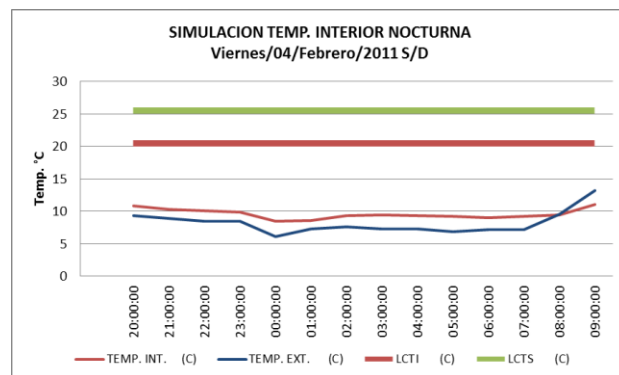


Fig. 496. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

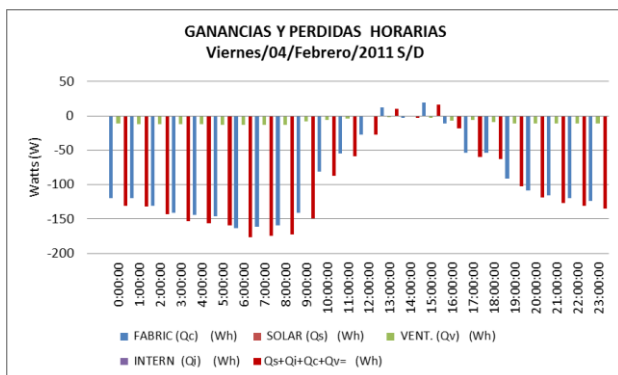


Fig. 497. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo sede al ambiente exterior

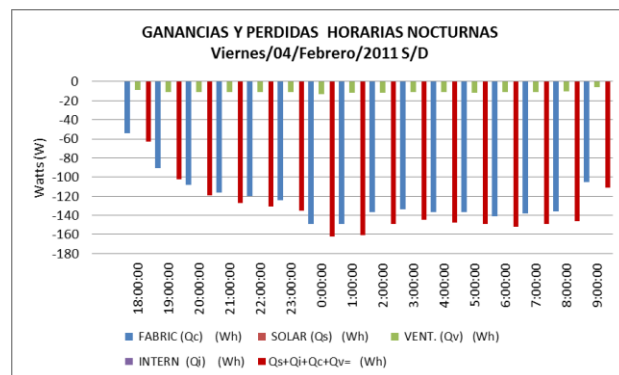


Fig. 498. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

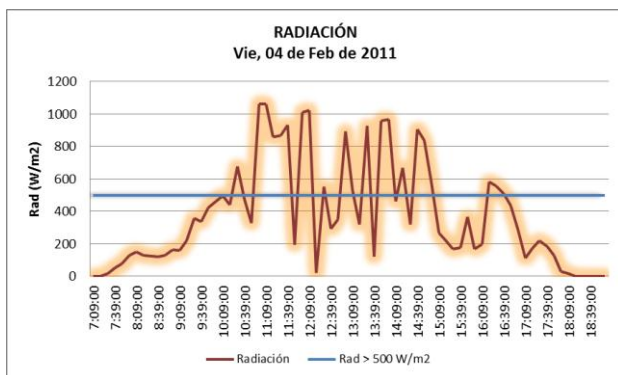


Fig. 499. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 4 de febrero del 2010

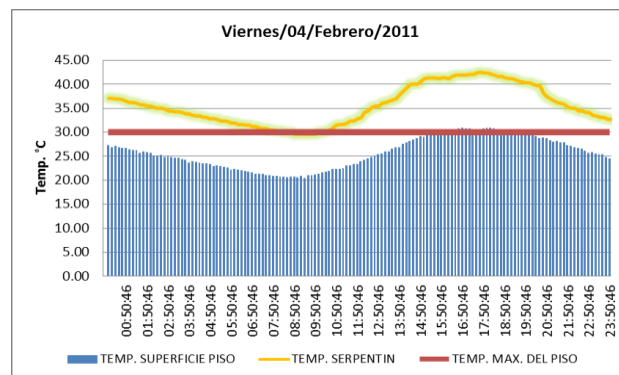


Fig. 500. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

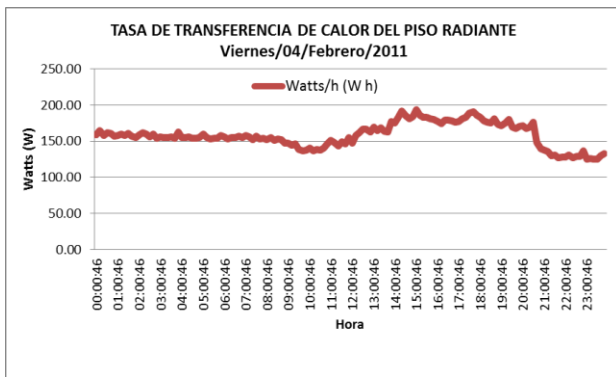


Fig. 501. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

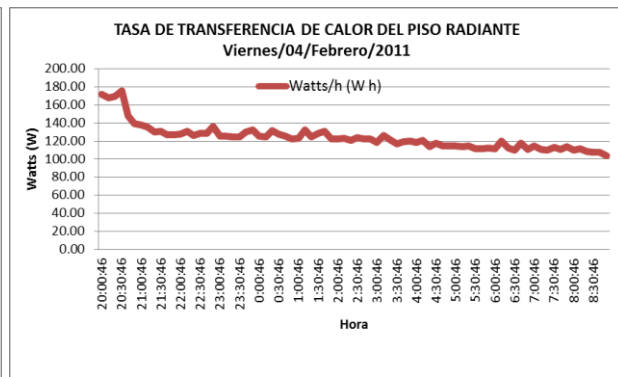


Fig. 502. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

5 de febrero 2011

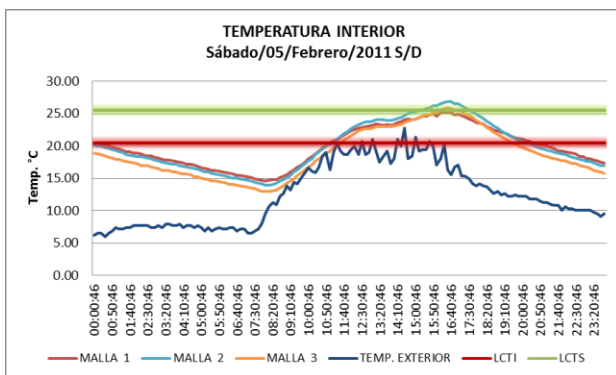


Fig. 503. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

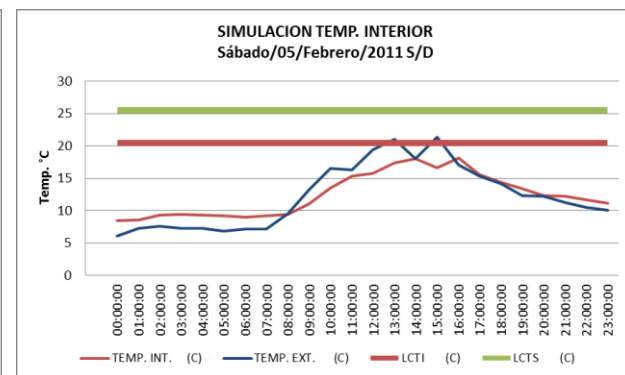


Fig. 504. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

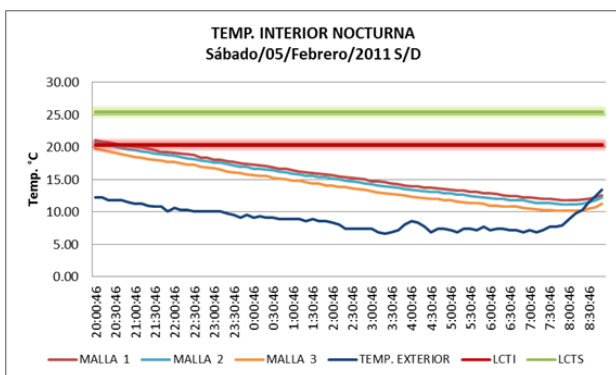


Fig. 505. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

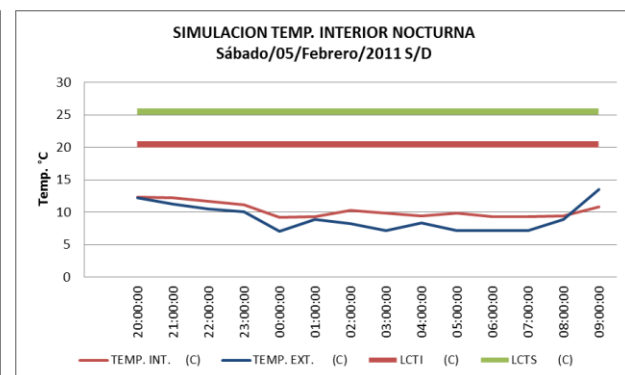


Fig. 506. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

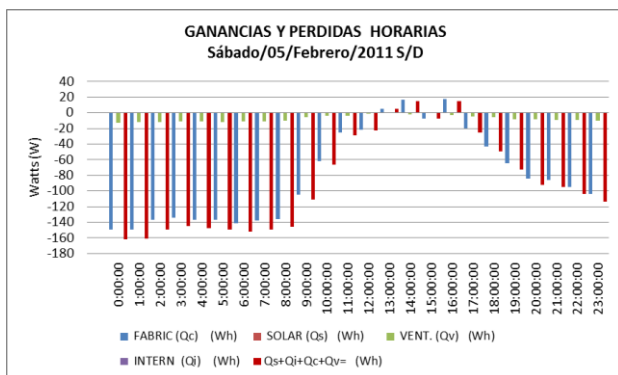


Fig. 507. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

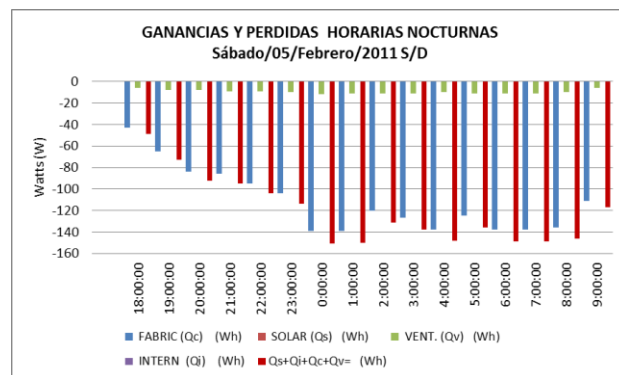


Fig. 508. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

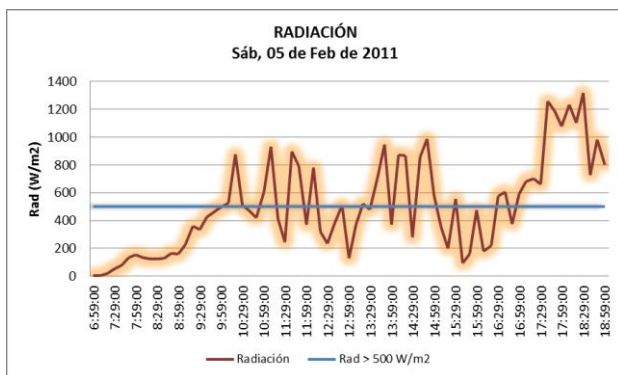


Fig. 509. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 5 de febrero del 2010

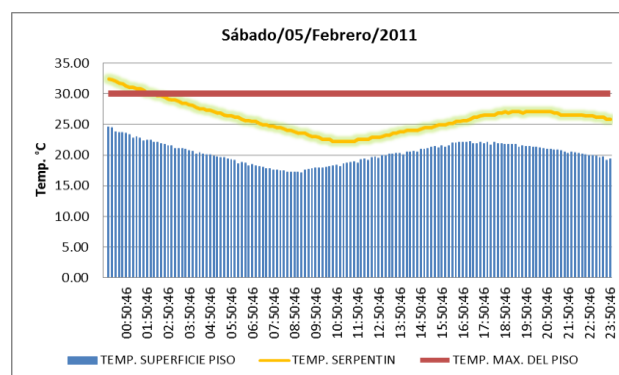


Fig. 510. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

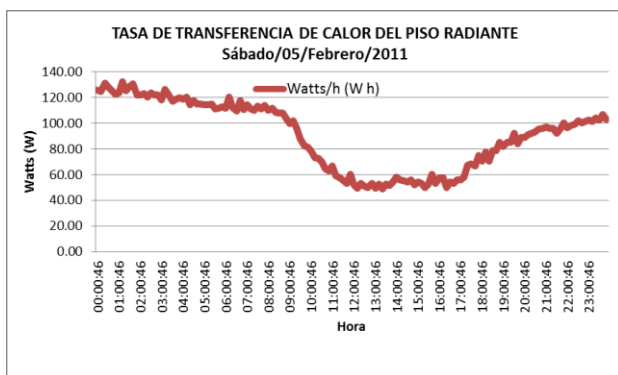


Fig. 511. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

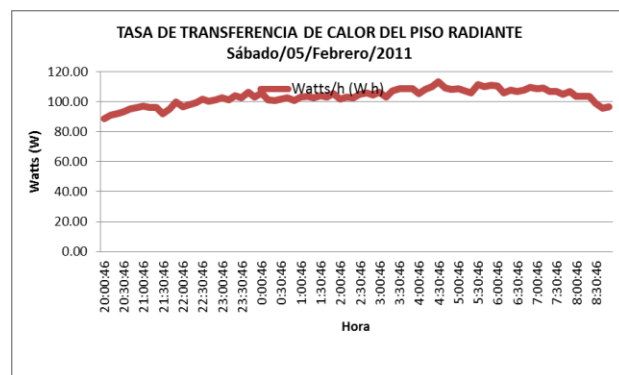


Fig. 512. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

6 de febrero 2011

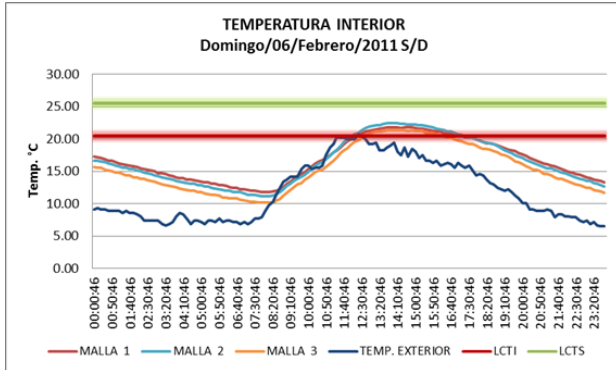


Fig. 513. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

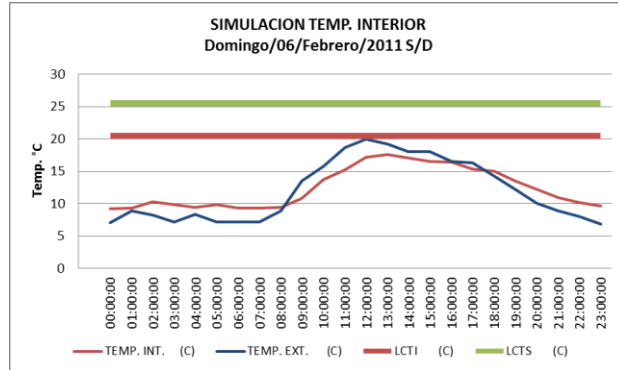


Fig. 514. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

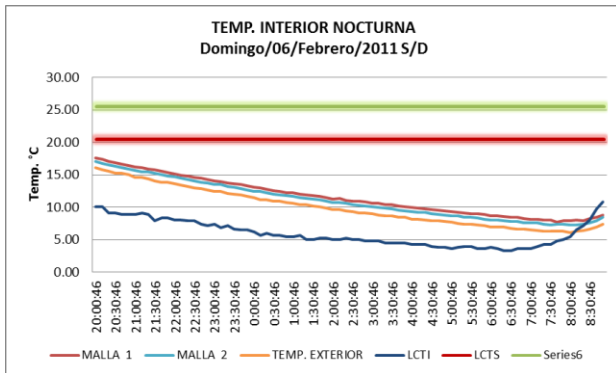


Fig. 515. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

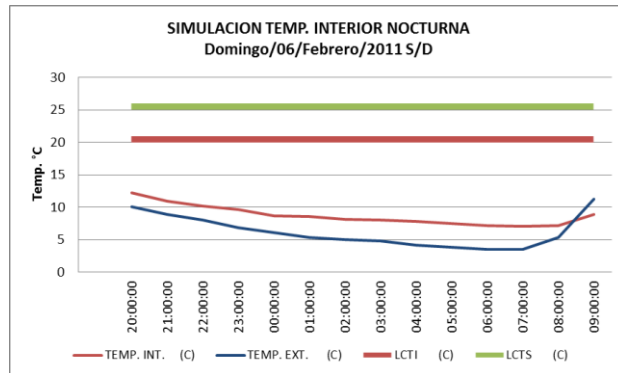


Fig. 516. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

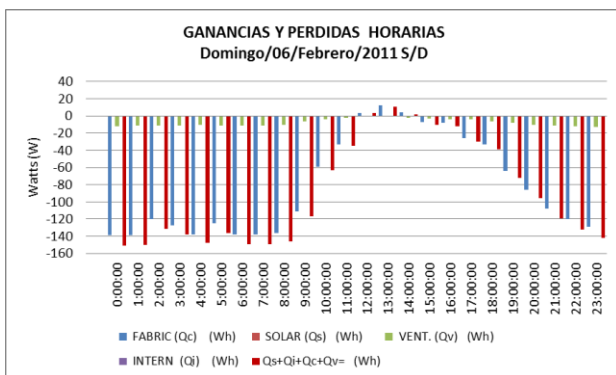


Fig. 517. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

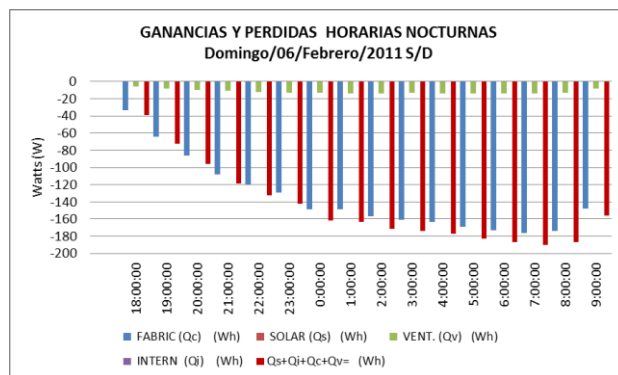


Fig. 518. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

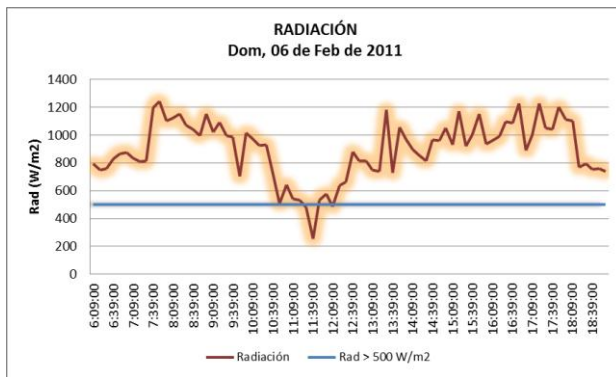


Fig. 519. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 6 de febrero del 2010

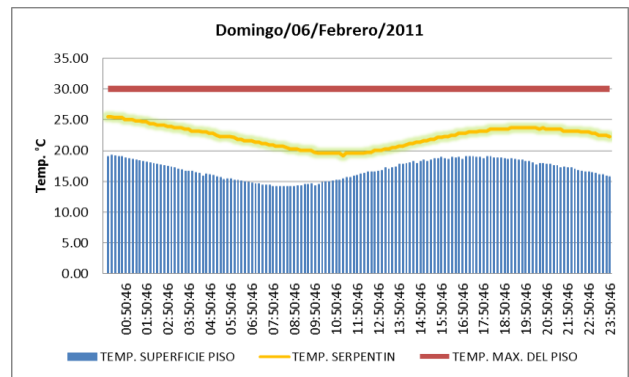


Fig. 520. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

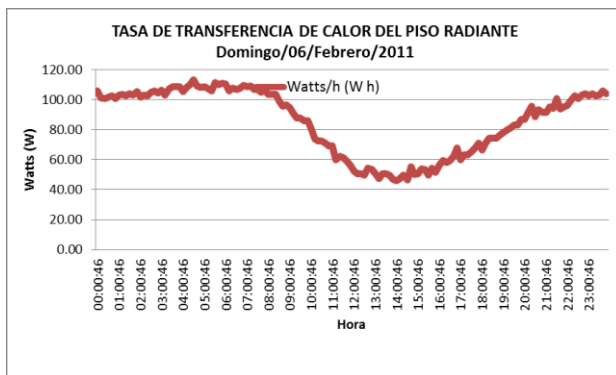


Fig. 521. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

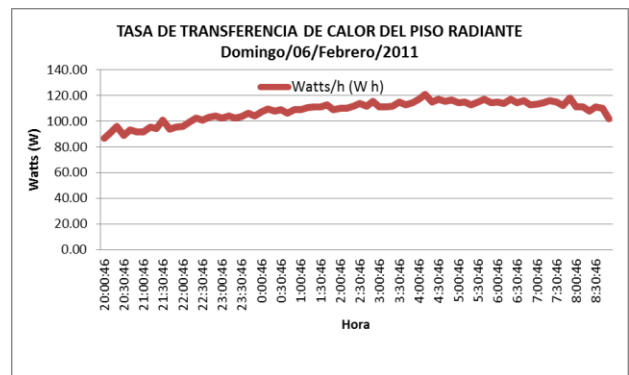


Fig. 522. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

7 de febrero 2011

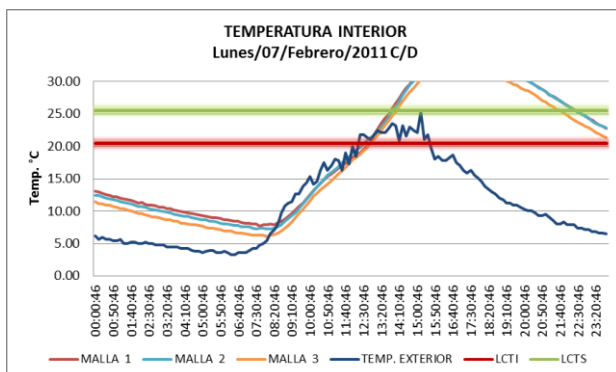


Fig. 523. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

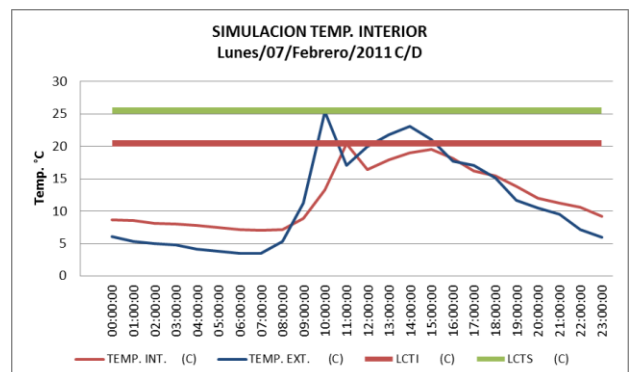


Fig. 524. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

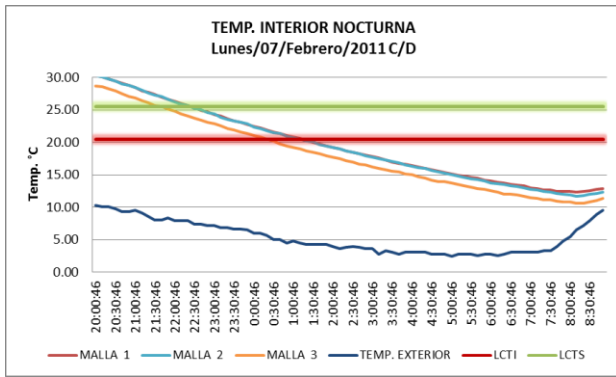


Fig. 525. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

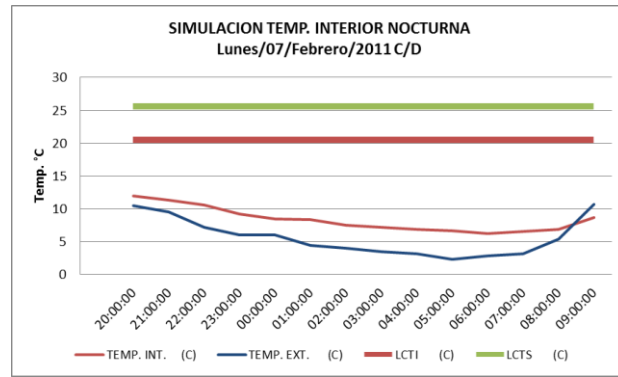


Fig. 526. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

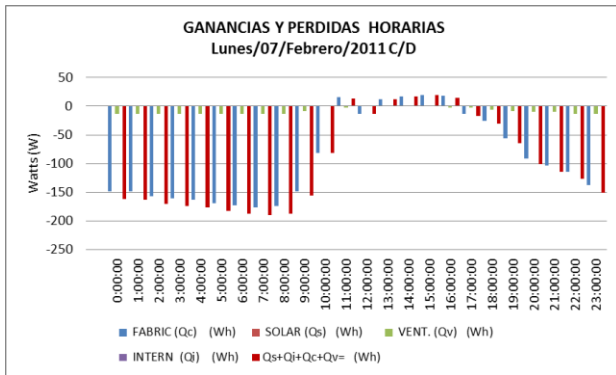


Fig. 527. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

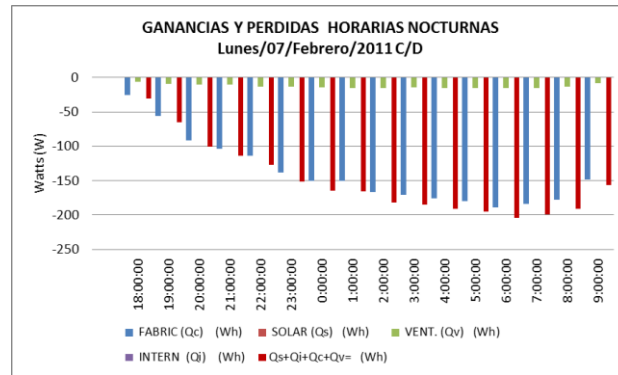


Fig. 528. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

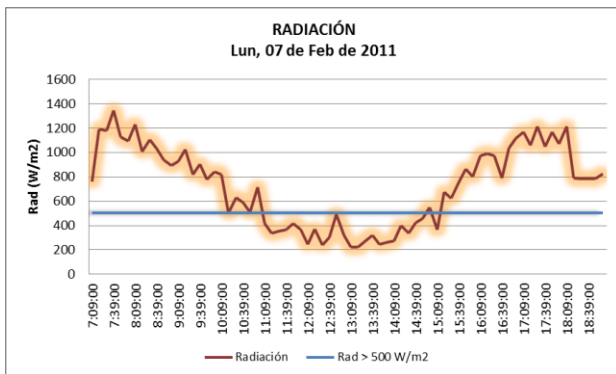


Fig. 529. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 7 de febrero del 2010

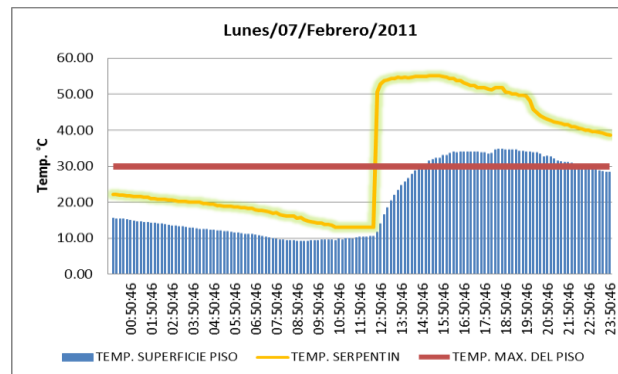


Fig. 530. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

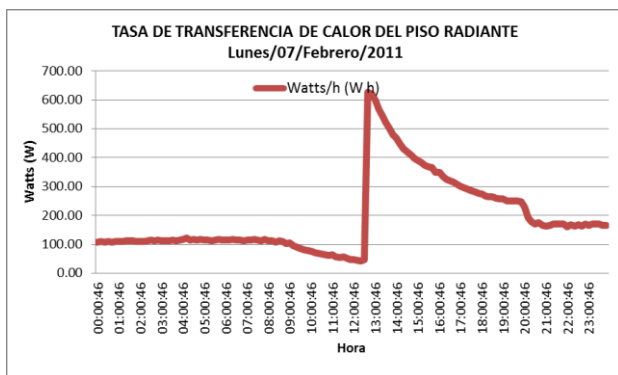


Fig. 531. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

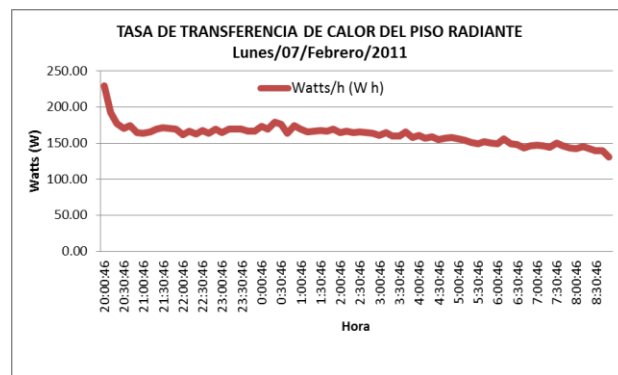


Fig. 532. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

8 de febrero 2011 Dispositivo en funcionamiento durante el día y la noche

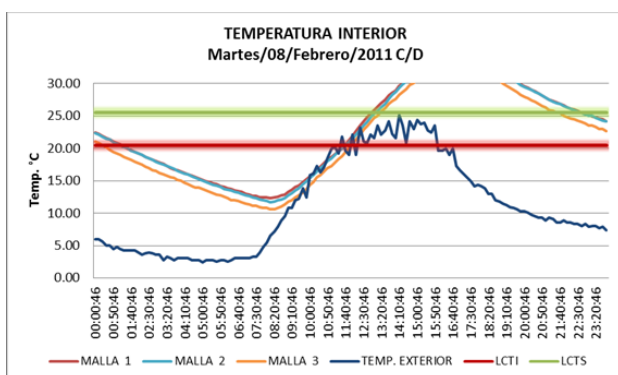


Fig. 533. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

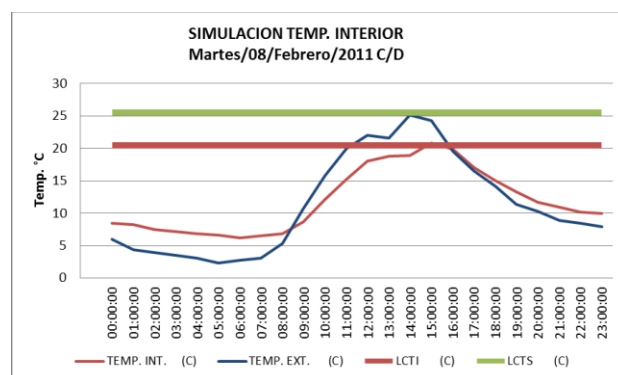


Fig. 534. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

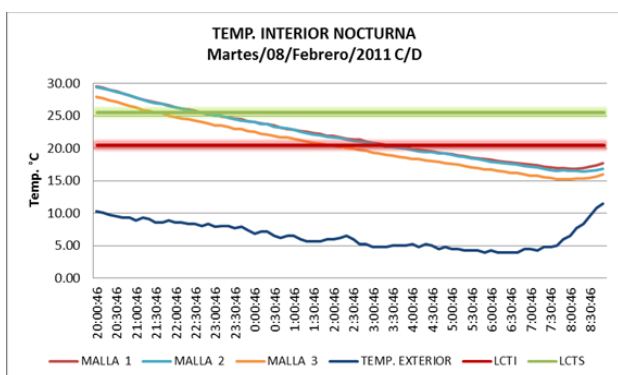


Fig. 535. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

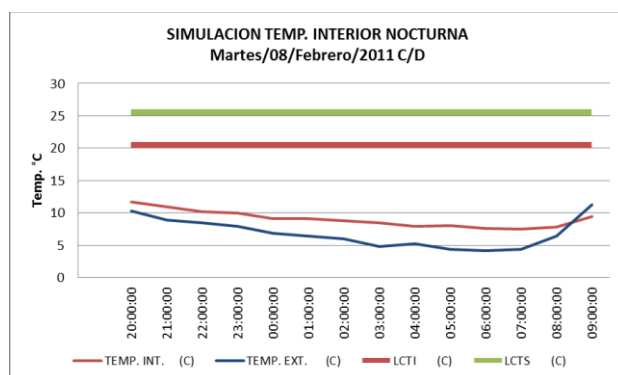


Fig. 536. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

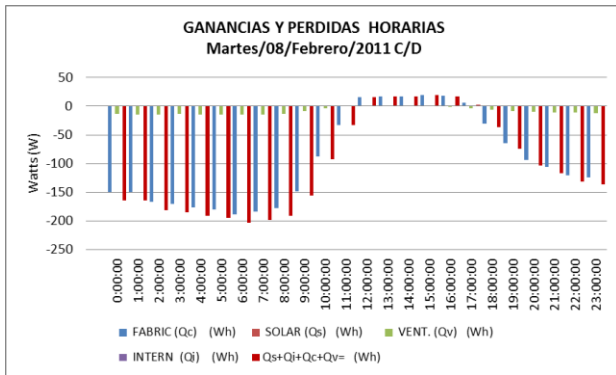


Fig. 537. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

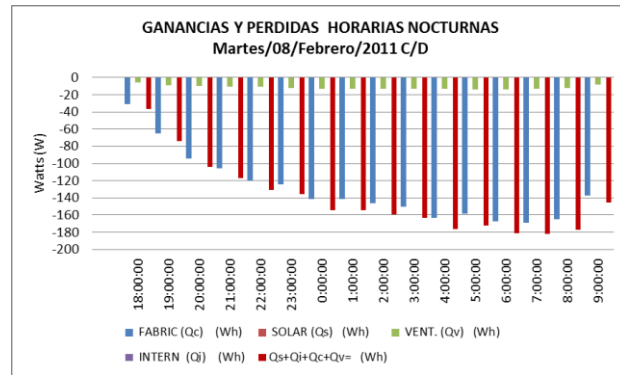


Fig. 538. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

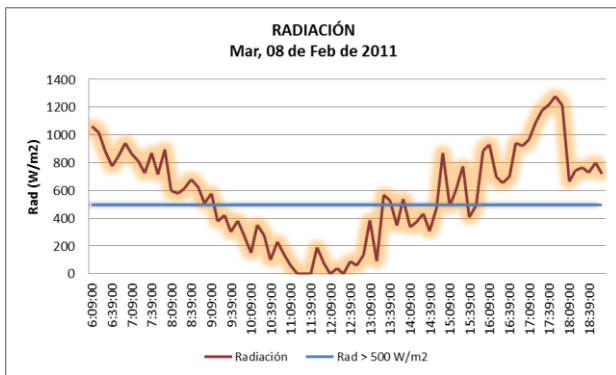


Fig. 539. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 8 de febrero del 2010

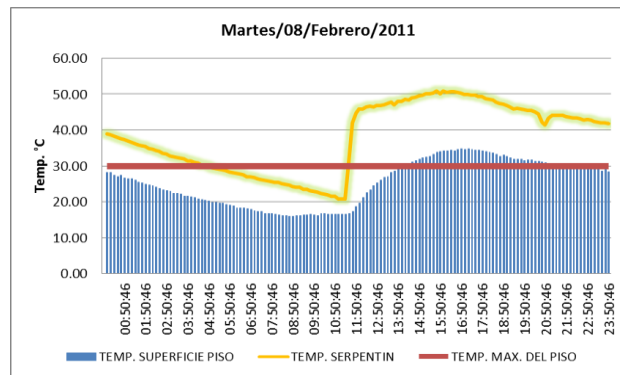


Fig. 540. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

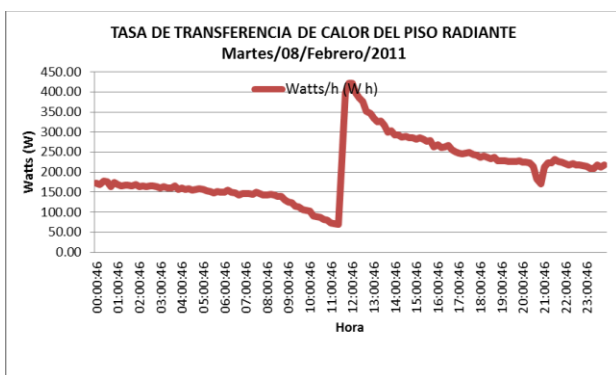


Fig. 541. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

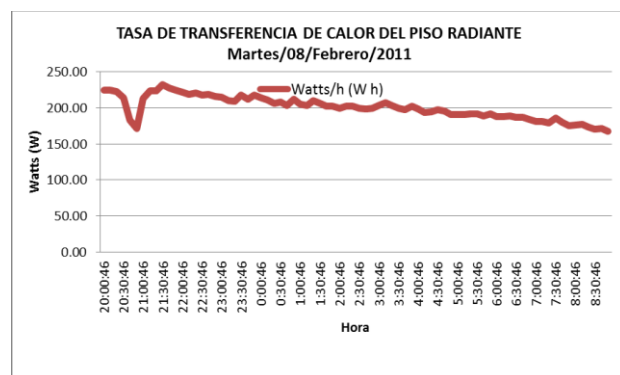


Fig. 542. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

11 de febrero 2011

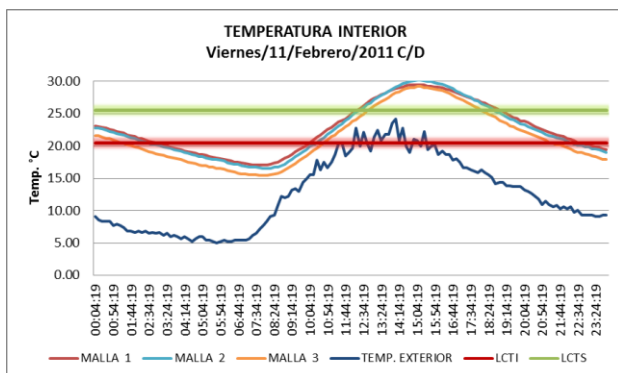


Fig. 543. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

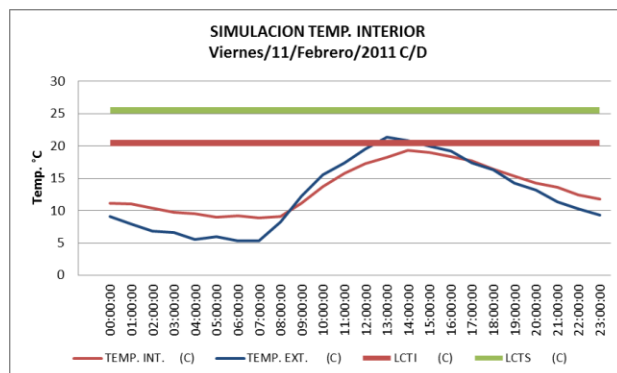


Fig. 544. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

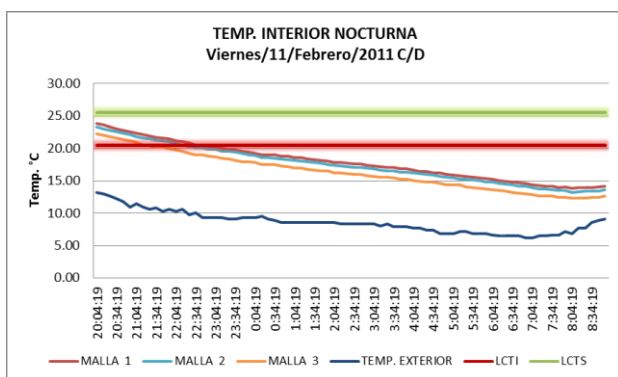


Fig. 545. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

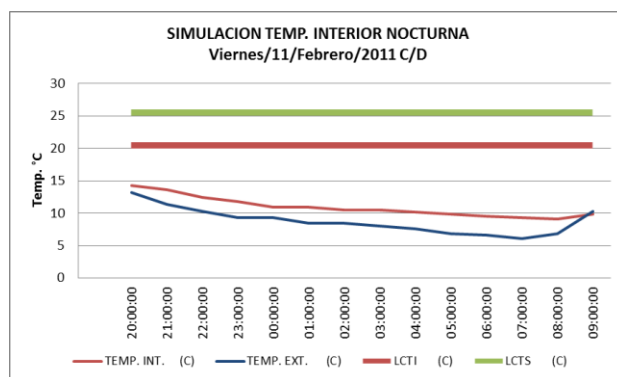


Fig. 546. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

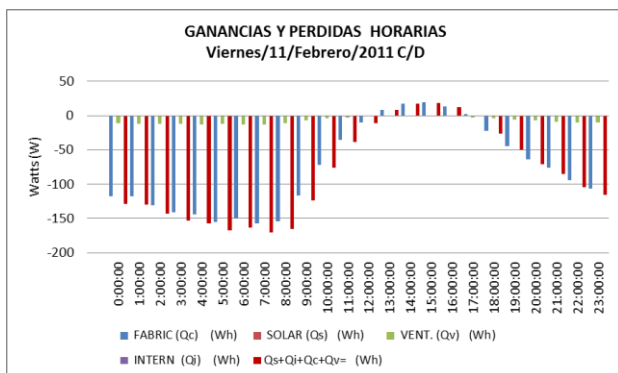


Fig. 547. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo sede al ambiente exterior

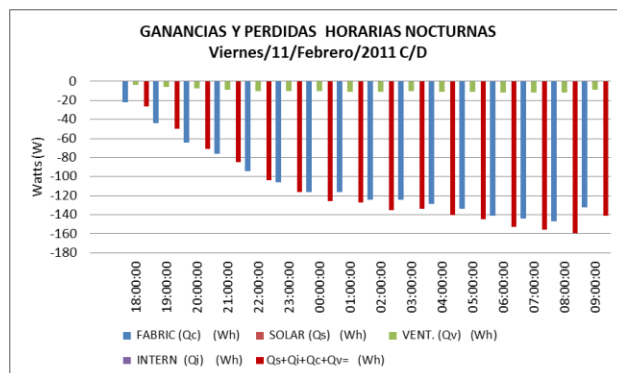


Fig. 548. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo sede al ambiente exterior

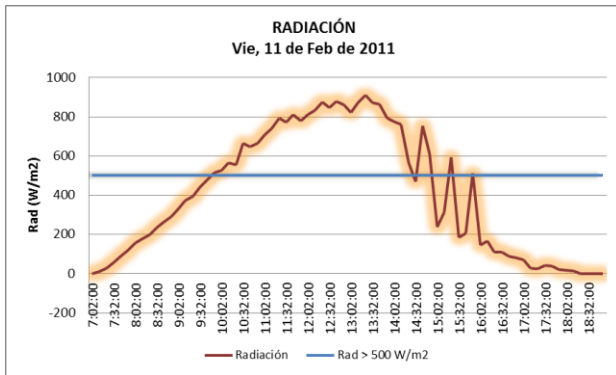


Fig. 549. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 11 de febrero del 2010

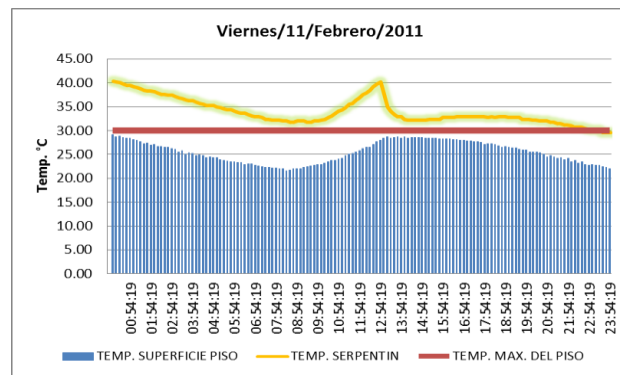


Fig. 550. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

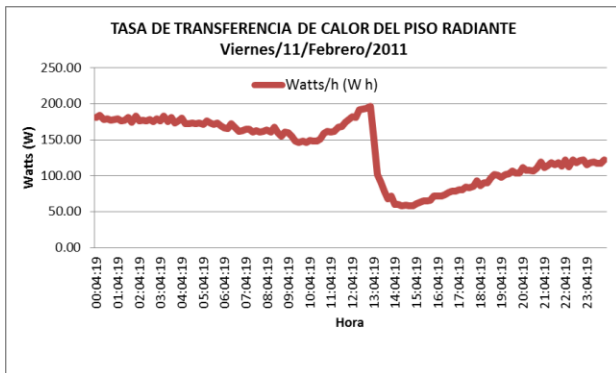


Fig. 551. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

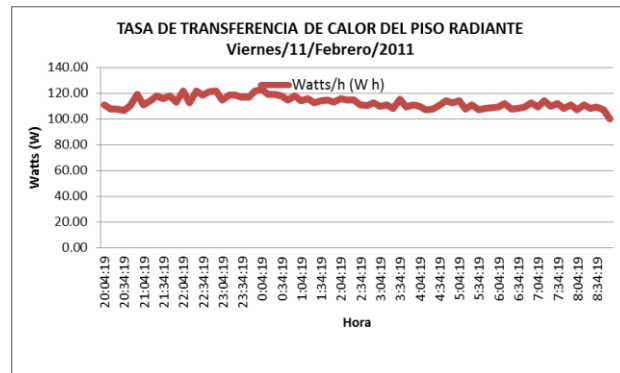


Fig. 552. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas.

12 de febrero 2011

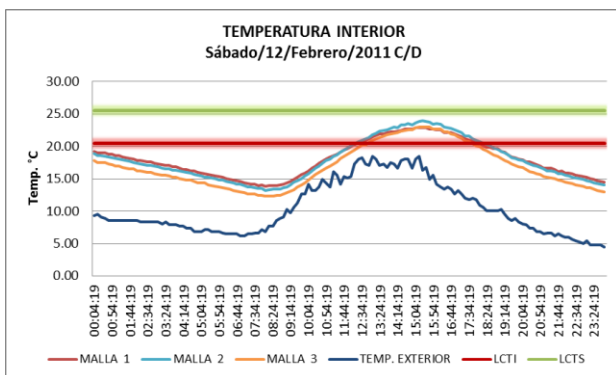


Fig. 553. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

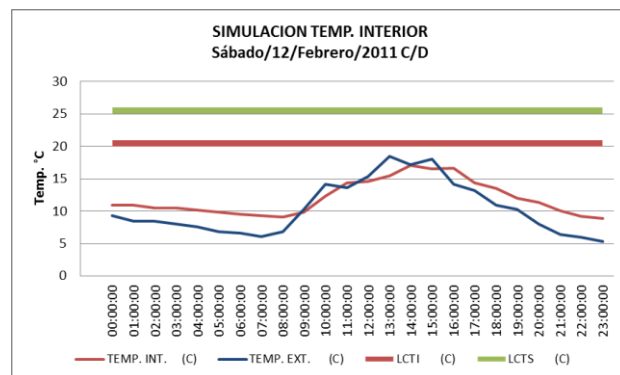


Fig. 554. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

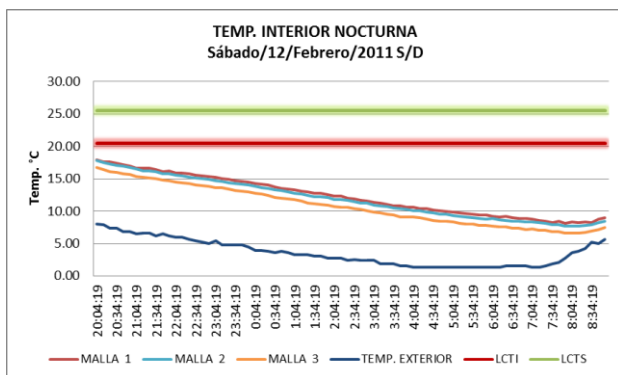


Fig. 555. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20:00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

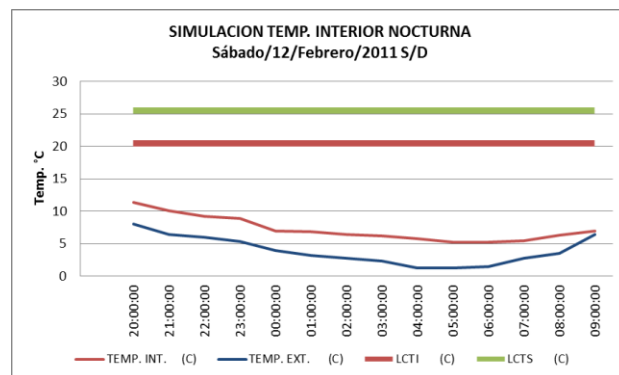


Fig. 556. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

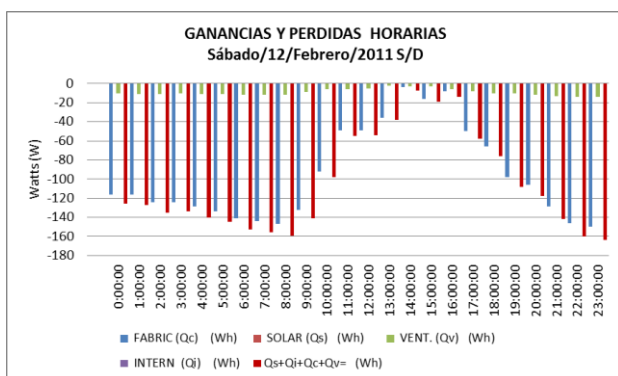


Fig. 557. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

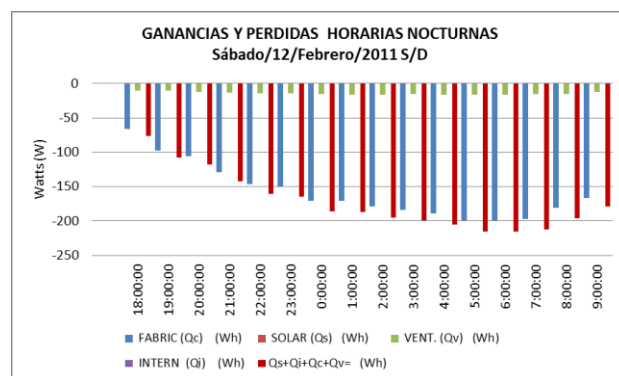


Fig. 558. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el módulo cede al ambiente exterior

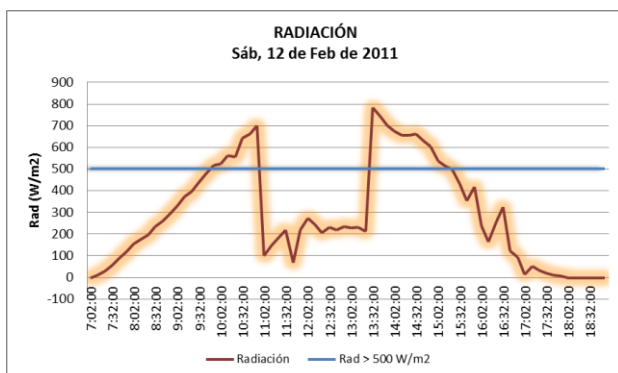


Fig. 559. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 12 de febrero del 2010

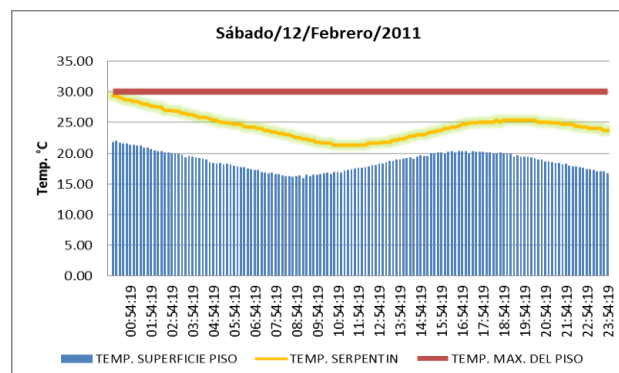


Fig. 560. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

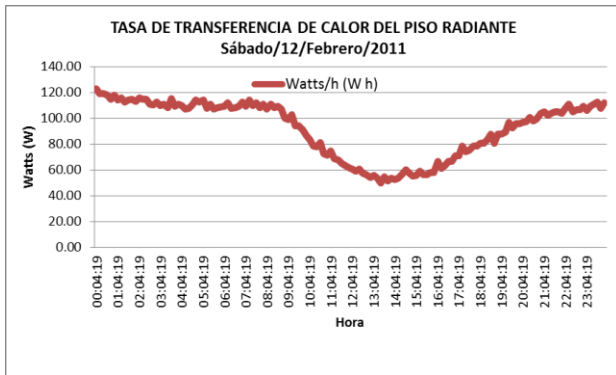


Fig. 561. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo a lo largo de día

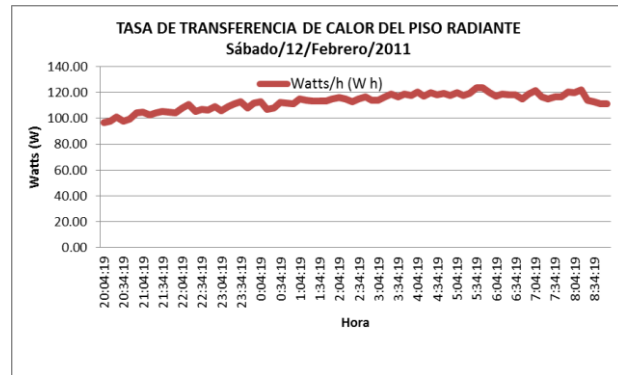


Fig. 562. Muestra la tasa de transferencia de calor que aporta el piso radiante al ambiente interior del módulo de 20:00 a 9:00 horas

13 de febrero 2011

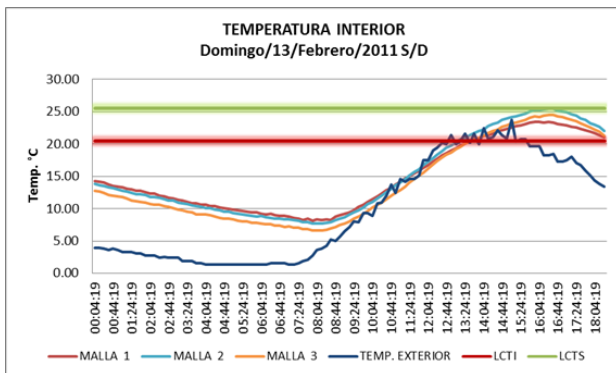


Fig. 563. Imagen que muestra la temperatura interior del módulo a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior, a lo largo del día

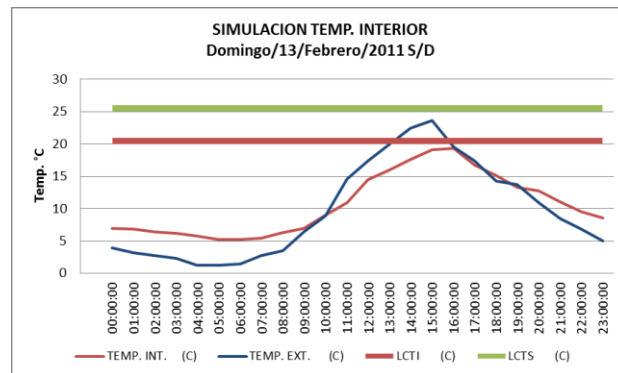


Fig. 564. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior del módulo durante un día completo, también se observa la temperatura exterior

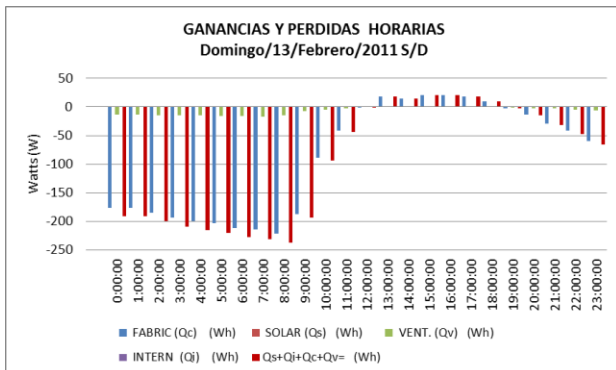


Fig. 565. Gráfica que muestra el balance térmico del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

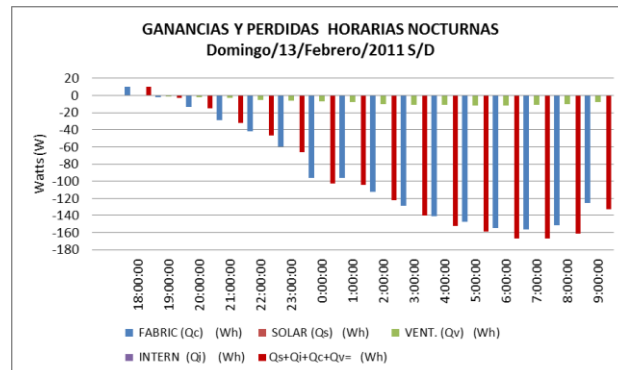


Fig. 566. Gráfica que muestra el balance térmico nocturno del módulo, se pueden apreciar las pérdidas de energía que el modulo cede al ambiente exterior

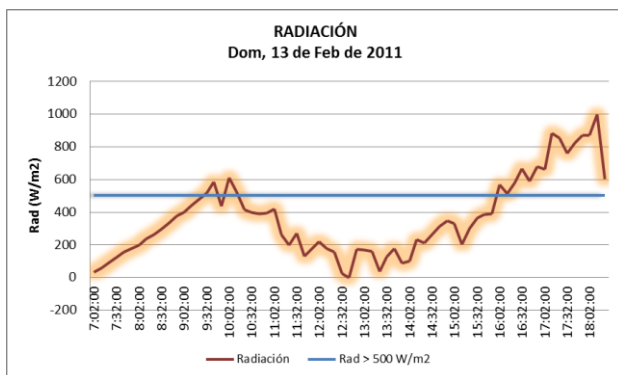


Fig. 567. Muestra la intensidad de la radiación solar incidente del día 13 de febrero del 2010

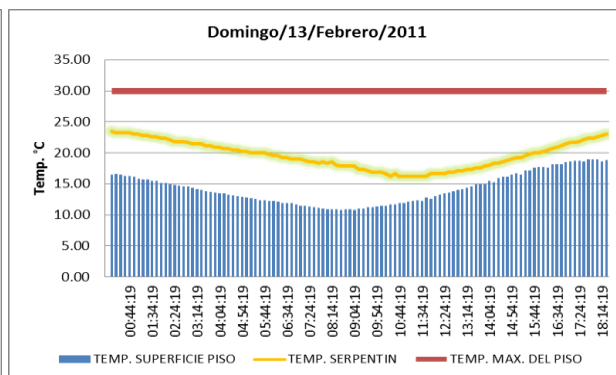


Fig. 568. Imagen que muestra la temperatura del agua al interior del serpentín y la temperatura de la superficie del piso

14 de febrero 2011

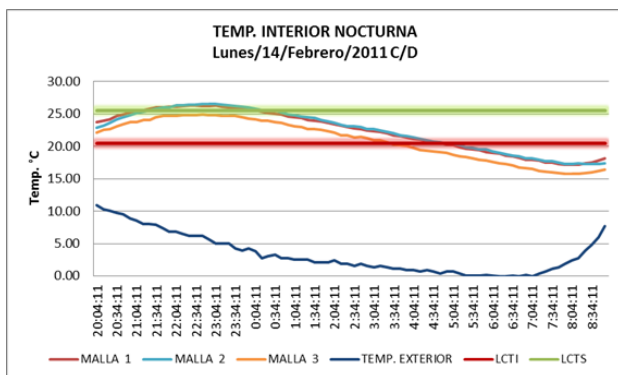


Fig. 569. Imagen que muestra la temperatura interior nocturna del módulo de las 20.00 a 9:00 horas a 3 diferentes alturas 0.30, 1.60 y 2.10 m, también se observa la temperatura exterior

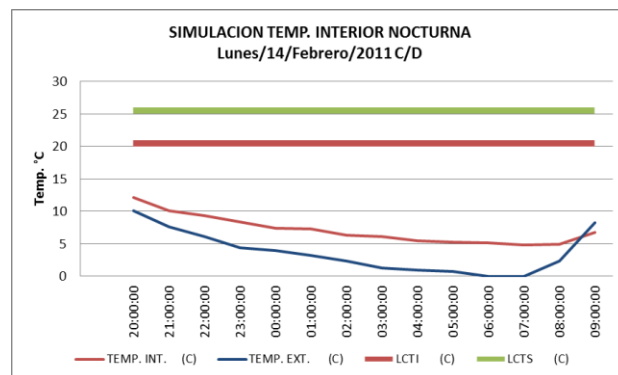


Fig. 570. Imagen que muestra la simulación de la temperatura interior nocturna del módulo así como la temperatura exterior de 20:00 a 9:00 horas

En el segundo periodo de evaluación del dispositivo de calefacción se realizaron dos diferentes pruebas.

La primera realizada en un horario nocturno permitió apreciar que el piso radiante genera un buen aporte de energía para elevar la temperatura interior del módulo, ya que la transferencia de calor del piso radiante oscilo en una rango de 200 Wh a 350 Wh, de esta forma la temperatura interior del módulo experimental llegó a un rango de 19 °C a 24 °C de 8:00 pm a 2:00 am en la mayoría de los casos. Sin embargo, esta temperatura comenzó a descender hasta llegar a los 15 °C lo cual representa un déficit de energía que no puede ser compensado por el sistema de calefacción. De

esta forma, el dispositivo de calefacción solo logró llevar la temperatura interior hasta el rango de confort durante la mitad del periodo de funcionamiento, lo cual indica que el rendimiento del piso radiante no fue óptimo en el mantenimiento de la temperatura interior por arriba de los 20 °C. Sin embargo, a pesar de que no se mantuvo una temperatura de confort, se logró elevar de manera considerable la temperatura al interior del módulo.

En la última evaluación realizada al módulo experimental se puso en marcha el sistema de calefacción solar durante el día y la noche, es decir las 24 horas, se encontró que el desempeño del piso radiante hidrónico solar disminuyó su rendimiento en cuanto a transferencia de calor, principalmente en la noche, ya que las pérdidas durante el día y la noche resultaron ser mayores a la energía almacenada en el termo tanque

11.3 ANEXOS III

11.3.1 Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables (PCES)

El PCES (Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables) es un instrumento enfocado a transformar las edificaciones actuales y futuras bajo esquemas de sustentabilidad y eficiencia ambiental, promoviendo la salud humana, el cuidado de los recursos, la prosperidad económica, el beneficio social y la calidad de vida.

“El PCES atiende transversalmente temas en los que se centran los siguientes ejes de acción propuestos por el gobierno del Distrito Federal, para encaminar a la Ciudad hacia la sustentabilidad.

- I. Cambio climático y calidad del aire
- II. Reducción en el consumo de agua e incremento de su reutilización y tratamiento
- III. Manejo adecuado de residuos
- IV. Ciudadanía verde y cooperación

El PCES es un sistema de aplicación de criterios con distintos umbrales de eficiencia que otorga puntos en diferentes categorías, la suma de los cuales determina el nivel de certificación obtenido y los beneficios a los que se tiene derecho. Los tres niveles de certificación son Certificación, Eficiencia y Excelencia.” (Secretaría del Medio Ambiente, 2009)

Los criterios se agrupan en las siguientes cinco categorías:

- Energía
- Agua
- Residuos sólidos
- Calidad de vida y responsabilidad social
- Impacto ambiental y otros impactos

Energía. Se refiere al diseño eficiente de la envolvente o diseño bioclimático, acondicionamiento ambiental, iluminación, motores, equipos y sistemas de control. En esta categoría se pueden obtener puntos adicionales por la utilización de energías solar fotovoltaica y eólica, así como por la utilización de calentadores solares.

Agua. Se refiere a la captación y aprovechamiento de aguas pluviales en el inmueble, así como de su infiltración en el subsuelo, la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales y su reutilización, eliminación de fugas, utilización de tecnologías y mobiliario para el uso eficiente del agua, y la promoción de campañas sobre el uso eficiente y cultura del agua.

Residuos sólidos. Se refiere a su almacenamiento temporal, señalamiento, manejo adecuado, separación y valorización, y disposición final adecuada. En este rubro se puede obtener puntos adicionales por instrumentar programas de sensibilización en la separación de los residuos y de manejo de residuos de manejo especial.

Calidad de vida y responsabilidad social. Esta es una categoría amplia que abarca la instalación de sistemas de naturación, bio climatización, facilidades de transporte para usuarios permanentes, bahías de ascenso y descenso de transporte, nivel de ruido dentro de los edificios, mantenimiento, instalación de estacionamientos para bicicletas, y generar una cultura de participación en la sustentabilidad. Este apartado proporciona puntos adicionales por la provisión de áreas verdes para el confort de los ocupantes y propiciar la integración social según el género de edificio, colocación de bici estaciones, ciclo vías internas, y accesibilidad.

Impacto ambiental y otros impactos. Establece criterios para la accesibilidad de estacionamiento, utilización de materiales locales, uso de materiales biodegradables para el mantenimiento de áreas verdes y edificaciones, materiales bajos en componentes orgánicos volátiles, materiales reciclados en la construcción, reciclaje de estructuras existentes, reciclaje de predios, y respeto a los árboles.

A diferencia de otros programas de certificación de construcciones, con desempeño de alta eficiencia energética de aceptación global, éste es un programa que acepta la revisión y perfeccionamiento de resultados para la obtención de la certificación, y cuando esto no es posible

o deseable por el propietario, podremos optar por el grado de certificación menor cuando la puntuación así lo permita.

Entre los beneficios que se busca con la construcción de edificios sustentables destacan el ahorro y uso eficiente de los recursos: agua y energía; reducción de emisiones Gases Efecto Invernadero, del efecto isla de calor urbano; encharcamientos, gracias a la mayor presencia de áreas verdes y naturación de azoteas; aplicación de energías renovables y reducción de emisiones al aire, de descargas al agua y de generación de residuos.

Los certificados de edificaciones sustentables serán expedidos de acuerdo con el grado de cumplimiento de los criterios de sustentabilidad, mediante tres categorías de certificación:

- Cumplimiento 21 a 50 puntos
- Eficiencia 51 a 80 puntos
- Excelencia 81 a 100 puntos

Excelencia daría lugar a:

Reducción en el Pago de Impuesto Predial (30%)

Financiamiento para Programas de Ahorro de Energía

Cuotas preferentes en los derechos de agua

Financiamientos a tasas preferenciales (Bancos)

Reducción de primas de seguros

Eficiencia daría lugar a:

Reducción en el Pago de Impuesto Predial (15%)

Simplificación administrativa

Ahorro económico en agua y energía

Financiamientos a tasas preferenciales (Bancos)

Reducción de primas de seguros

Algunos de los certificados que se expiden son:

- Reducción en el Pago de Impuesto Predial (CFDF)
- Simplificación administrativa
- Cuotas preferentes en los derechos de agua (vivienda)
- Posibles financiamientos para programas de ahorro de energía
- Posibles financiamientos a tasas preferenciales (Bancos)
- Posibles reducciones de primas de seguros

El PCES busca promover y fomentar la reducción de emisiones contaminantes y el uso eficiente de los recursos naturales en el diseño y operación de edificaciones en el Distrito Federal; con base en criterios de sustentabilidad y eficiencia ambiental; a través de la implementación y certificación de un proceso de regulación voluntaria y el otorgamiento de incentivos económicos.

“Podrán participar en el programa, los dueños o promoventes de edificaciones ya existentes o por construirse destinadas a uso habitacional y oficinas en esta primera etapa y de uso mixto comercio vivienda en la segunda etapa” (Zamora, 2010)

“Las certificaciones serán voluntarias y se llevarán a cabo de conformidad con los lineamientos desarrollados por el Programa; los costos de los trabajos de implementación, certificación, así como los generados para ejecución del Plan de Acción y emisión del Certificado, correrán por parte del responsable de la edificación de que se trate”. (Zamora, 2010)

Los incentivos fiscales por el uso e instalación de paneles solares, ahorro de energía y sistemas de captación de agua pluvial para la disminución del consumo de energía y/o agua o el reciclaje de esta última en vivienda serán según la secretaría de medio ambiente:

Reducción de hasta el 20% de los derechos por suministro de agua. Y hasta 30% de reducción en el pago de impuesto predial (30%) según el puntaje obtenido en los criterios de cumplimiento, eficiencia y excelencia 81 a 100 puntos

Para poder recibir los incentivos fiscales se debe presentar una constancia expedida por la Secretaría de Medio Ambiente, en la que se precise el tipo de dispositivos con que cuentan y los beneficios que representan para el ahorro de energía eléctrica y/o agua.